Emiliano Chemello
Editor responsável:
Fabio Martins de Leonardo

MODERNA SUPERAÇÃO!

QUÍMICA

MANUAL DO PROFESSOR

VOLUME
ÚNICO

ENSINO MÉDIO

Área de conhecimento:
Ciências da Natureza
e suas Tecnologias

Componente curricular:
Química

MODERNA

Emiliano Chemello
Licenciado em Química e Mestre em Engenharia e Ciência dos Materiais pela Universidade de Caxias do Sul (RS).
Professor de Química em escolas e cursos pré-vestibulares.

Editor responsável:
Fabio Martins de Leonardo
Licenciado em Matemática pela Universidade de São Paulo. Editor.

MODERNA SUPERAÇÃO!

QUÍMICA

VOLUME ÚNICO
ENSINO MÉDIO

Área de conhecimento: Ciências da Natureza e suas Tecnologias
Componente curricular: Química

MANUAL DO PROFESSOR

1ª edição
São Paulo, 2024

MODERNA

Elaboração de originais:

Lara Vieira Leite
Licenciada em Química pela Universidade Federal de Alfenas (MG). Mestra em Ciências (Ensino de Química) pela Universidade de São Paulo. Editora.

Patrícia Araújo dos Santos
Bacharela e licenciada em Química pela Universidade de São Paulo. Doutora em Ciências no Programa Ciências Biológicas (área de concentração: Bioquímica) pela Universidade de São Paulo. Editora.

Paula Yumi Hirata
Bacharela e licenciada em Química pelo Centro Universitário Fundação Instituto de Ensino para Osasco (SP). Editora.

Tathyana Tumolo Haider
Bacharela em Química pela Universidade Presbiteriana Mackenzie (SP). Licenciada em Química pela Universidade de Franca (SP). Concluiu pós-doutorado pelo Departamento de Bioquímica da Universidade de São Paulo. Editora.

Organização dos objetos digitais: Pâmela Castro
Elaboração dos objetos digitais: Fabio Martins de Leonardo, Glaucia Teixeira

Edição executiva: Fabio Martins de Leonardo, Glaucia Teixeira
Edição de texto: Lara Vieira Leite, Adriana de Oliveira Pacheco, Erasmo Moises dos Santos Silva, Raquel Cristina Affonso
Assistência editorial: Edna G. Santos
Assessoria didático-pedagógica: Naãma Cristina Negri Vaciloto
Preparação de texto: Márcia Leme
Gerência de planejamento editorial e revisão: Maria de Lourdes Rodrigues
Coordenação de revisão: Elaine C. del Nero, Mônica Rodrigues de Lima
Revisão: Ana Cortazzo, Luiz Bazana, ReCriar Editorial, Sirlene Prignolato, Tatiana Malheiro
Gerência de *design,* produção gráfica e digital: Patricia Costa
Coordenação de *design* e projetos visuais: Marta Cerqueira Leite
Projeto gráfico: Bruno Tonel, Everson de Paula, Vinicius Rossignol
Capa: Everson de Paula, Paula Miranda Santos
Fotos: Atleta de tênis de mesa. © Lane Oatey/Blue Jean Images/Getty Images
Coordenação de produção gráfica: Aderson Oliveira
Coordenação de arte: Mônica Maldonado, Wilson Gazzoni Agostinho
Edição de arte: Priscilla Andrade
Editoração eletrônica: Teclas Editorial
Coordenação de pesquisa iconográfica: Flávia Aline de Morais
Pesquisa iconográfica: Pamela Rosa
Coordenação de *bureau*: Rubens M. Rodrigues
Tratamento de imagens: Ademir Baptista, Ana Isabela Pithan Maraschin, Denise Feitosa, Vânia Maia
Pré-impressão: Alexandre Petreca, Marcio H. Kamoto
Coordenação de produção industrial: Wendell Monteiro
Impressão e acabamento:

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Chemello, Emiliano
Moderna superação! química / Emiliano Chemello ; editor responsável Fabio Martins de Leonardo. -- 1. ed. -- São Paulo : Moderna, 2024.

Obra em volume único do 1°, 2° e 3° anos do ensino médio.
Componente curricular: Química.
Área de conhecimento: Ciências da natureza e suas tecnologias.
ISBN 978-85-16-14055-7 (aluno)
ISBN 978-85-16-14056-4 (professor)

1. Química (Ensino médio) I. Leonardo, Fabio Martins de. II. Título.

24-227904 CDD-540.7

Índices para catálogo sistemático:

1. Química : Ensino médio 540.7

Cibele Maria Dias - Bibliotecária - CRB-8/9427

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.
Todos os direitos reservados.

EDITORA MODERNA LTDA.
Rua Padre Adelino, 758 - Belenzinho
São Paulo - SP - Brasil - CEP 03303-904
Canal de atendimento: 0303 663 3762
www.moderna.com.br
2024
Impresso no Brasil

1 3 5 7 9 10 8 6 4 2

APRESENTAÇÃO

Conversando com você, estudante,

Estamos vivenciando um momento sem precedentes de integração mundial e de produção e fluxo de informação, promovidos principalmente pelo uso disseminado de tecnologias da comunicação. Nesse cenário, as contribuições das Ciências da Natureza e suas Tecnologias ganham ainda mais importância, trazendo novos dados acerca dos fenômenos naturais e novas interpretações daquilo que já conhecíamos, desvendando fronteiras tecnológicas cada vez mais amplas.

Diante dessa realidade, almejamos uma educação de qualidade amplamente acessível, pautada em dados científicos e no desenvolvimento de senso crítico, fornecendo instrumentos para que você faça escolhas conscientes a fim de melhorar a sua qualidade de vida e a das demais pessoas. Afinal, entender a natureza nos possibilita adotar posturas mais adequadas diante dos enormes desafios do mundo atual.

Por meio desta coleção, vamos analisar como a Química, a Física e a Biologia e suas tecnologias estão integradas na resolução de problemas reais. Nosso objetivo é que você encontre o estímulo para despertar seu olhar para a natureza de modo crítico, analítico, ético e responsável. Para isso, selecionamos temáticas atuais e relevantes que serão abordadas à luz dessas ciências ao longo de cada uma das unidades. Com essas escolhas, procuramos valorizar o desenvolvimento de competências e habilidades fundamentais para sua formação como indivíduo e cidadão de um mundo em constante transformação.

Assim, convidamos você a desfrutar do prazer de entender a natureza, de fazer parte dela e desvendar sua beleza.

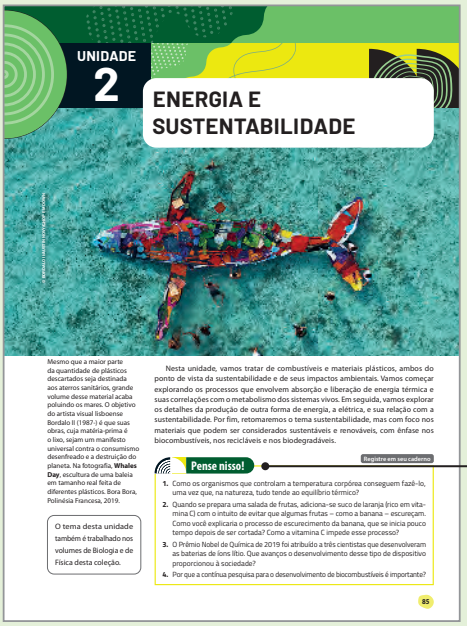
Com carinho,

Os Autores.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CONHEÇA SEU LIVRO

Este volume está dividido em seis unidades temáticas, cada uma com quatro capítulos que abrangem diferentes tópicos e seções. Entenda, a seguir, a estrutura do seu livro e como cada parte dele pode auxiliar o seu processo de aprendizagem.


UNIDADE 2

ENERGIA E SUSTENTABILIDADE

Mesmo que a maior parte da quantidade de plásticos descartados seja destinada aos aterros sanitários, grande volume desse material acaba poluindo os mares. O objetivo do artista visual lisboense Bordalo II (1987-) é que suas obras, cuja matéria-prima é o lixo, sejam um manifesto universal contra o consumismo desenfreado e a destruição do planeta. Na fotografia, **Whales Day**, escultura de uma baleia em tamanho real feita de diferentes plásticos. Bora Bora, Polinésia Francesa, 2019.

O tema desta unidade também é trabalhado nos volumes de Biologia e de Física desta coleção.

Nesta unidade, vamos tratar de combustíveis e materiais plásticos, ambos do ponto de vista da sustentabilidade e de seus impactos ambientais. Vamos começar explorando os processos que envolvem absorção e liberação de energia térmica e suas correlações com o metabolismo dos sistemas vivos. Em seguida, vamos explorar os detalhes da produção de outra forma de energia, a elétrica, e sua relação com a sustentabilidade. Por fim, retomaremos o tema sustentabilidade, mas com foco nos materiais que podem ser considerados sustentáveis e renováveis, com ênfase nos biocombustíveis, nos recicláveis e nos biodegradáveis.

Registre em seu caderno

Pense nisso!

1. Como os organismos que controlam a temperatura corpórea conseguem fazê-lo, uma vez que, na natureza, tudo tende ao equilíbrio térmico?
2. Quando se prepara uma salada de frutas, adiciona-se suco de laranja (rico em vitamina C) com o intuito de evitar que algumas frutas – como a banana – escureçam. Como você explicaria o processo de escurecimento da banana, que se inicia pouco tempo depois de ser cortada? Como a vitamina C impede essa processo?
3. O Prêmio Nobel de Química de 2019 foi atribuído a três cientistas que desenvolveram as baterias de íons lítio. Que avanços o desenvolvimento desse tipo de dispositivo proporcionou à sociedade?
4. Por que a contínua pesquisa para o desenvolvimento de biocombustíveis é importante?

85

Abertura de unidade

A imagem (ou composição de imagens) e o texto proporcionam contextualização atual relacionada à temática da unidade, convidando você a refletir.

As questões do boxe **Pense nisso!** ajudam a estabelecer relações entre o que você já sabe e o que será estudado na unidade.

Abertura de capítulo

Texto e imagem que introduzem o assunto a ser estudado ao longo do capítulo.

Capítulo 9

Água potável: parâmetros físico-químicos

ODS 6

Devemos consumir água regularmente, aumentando o volume ingerido em dias quentes e secos e quando realizamos atividades físicas.

O ser humano pode sobreviver vários dias ou até algumas semanas sem alimentos, mas não resiste muitos dias sem ingerir água. Segundo a OMS, devemos ingerir diariamente pelo menos 35 mL de água por quilograma de massa corporal, sendo que esse valor pode aumentar em dias quentes ou quando se realizam atividades físicas intensas. Isso significa que, por exemplo, uma pessoa com massa corpórea de 85 kg deve consumir, no mínimo, cerca de 3 litros de água por dia, enquanto uma pessoa com massa corpórea menor, como 60 kg, deve consumir um volume menor de água, no caso, cerca de 2 litros diários.

Neste capítulo, vamos identificar os conceitos de água mineral natural, água potável de mesa e água adicionada de sais minerais. Vamos, ainda, analisar as propriedades da água, como a capacidade de dissolver substâncias e, dependendo da substância dissolvida, conduzir eletricidade. Por fim, vamos classificar as soluções em função da quantidade de substâncias dissolvidas.

Água mineral natural

Segundo dados da Associação Brasileira da Indústria de Água Mineral (Abinam), o consumo de água mineral vem crescendo acentuadamente na última década. Isso se deve, por um lado, à ausência de bebedouros públicos em condições adequadas nos municípios e, por outro, à preocupação cada vez maior com a saúde.

No Brasil, segundo a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), existe uma diferença entre a água mineral natural, a água potável de mesa e a água adicionada de sais minerais. Esses três tipos de água podem ser provenientes de fontes naturais (de origem espontânea ou nascentes) ou de poços perfurados para a extração de água subterrânea. No entanto, as **águas minerais naturais** apresentam composição química ou propriedades físico-químicas que lhes conferem efeito terapêutico. Já as **águas potáveis de mesa** atendem apenas às condições de potabilidade vigentes – ou seja, o conjunto de valores máximos permitidos de

156

baixa condutividade elétrica, o que explica a ausência de brilho perceptível da lâmpada ("figura C" do início deste tópico), sendo denominadas **não eletrolíticas**.

Na dissolução da glicose ($C_6H_{12}O_6$) em água, por exemplo, a interação entre as moléculas de ambas as substâncias não leva ao rompimento das ligações entre os átomos das moléculas da glicose. Dizemos que a glicose se dissolveu, processo que pode ser equacionado da seguinte forma:

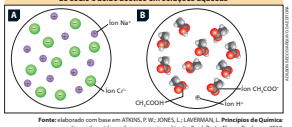
$$C_6H_{12}O_6(s) \xrightarrow{H_2O} C_6H_{12}O_6(aq)$$

Com base no que foi discutido até o momento, uma proposta para explicar a diferença de condutividade elétrica entre as soluções de cloreto de sódio e de ácido acético é considerar que o mesmo número de partículas elementares dissolvidas forma quantidades diferentes de íons em solução. Esse percentual de íons em meio aquoso é denominado **grau de ionização** (**α**).

$$\alpha = \frac{\text{número de moléculas ionizadas}}{\text{número de moléculas dissolvidas}} \cdot 100\%$$

Quanto mais próximo de 100% for o grau de ionização, mais forte é o eletrólito. Esse é o caso do cloreto de sódio. Por outro lado, em uma solução de concentração 0,6 g L^{-1}, a 25 °C, cerca de 4% do ácido acético encontra-se ionizado. Portanto, ele é considerado um eletrólito fraco.

Representação das espécies químicas cloreto de sódio e ácido acético em soluções aquosas



Fonte: elaborado com base em ATKINS, P. W.; JONES, L.; LAVERMAN, L. **Princípios de Química**: questionando a vida moderna e o meio ambiente. 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2018.

Representação esquemática em nível submicroscópico dos solutos cloreto de sódio (**A**), um eletrólito forte, e ácido acético (**B**), um eletrólito fraco, em soluções aquosas de mesma concentração. Para simplificação, as moléculas de água foram omitidas. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Além de poder avaliar qualitativamente a condutividade elétrica das soluções, como demonstrado no teste de condutividade das figuras A, B e C da página anterior, é possível medi-la quantitativamente por meio de um equipamento denominado **condutivímetro**. Esse equipamento fornece medidas em siemens por metro (S m^{-1}). A condutividade elétrica das soluções depende do tipo de íon presente, da concentração total de íons dissolvidos e da temperatura.

Observe novamente a representação do rótulo de água mineral, em que o valor de condutividade elétrica reportado é 74 µS cm^{-1}, a 25 °C. Segundo dados da Fundação Nacional de Saúde (Funasa), as águas naturais apresentam valores na faixa de 10 µS cm^{-1} a 100 µS cm^{-1}, enquanto em corpos de água poluídos por esgotos domésticos ou efluentes industriais os valores podem chegar a 1.000 µS cm^{-1}.

Um equipamento sensível como o condutivímetro é possível observar, até mesmo em soluções aquosas de não eletrólitos, uma pequena condução de corrente elétrica em função da **autoionização da água**:

$$H_2O(\ell) \rightleftharpoons H^+(aq) + OH^-(aq)$$

Fique por dentro

Teste de condutividade elétrica de soluções

UNIVERSITY OF COLORADO BOULDER. **PhET Interactive Simulations**: Soluções ácido-base. Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/acid-base-solutions/latest/acid-base-solutions_pt_BR.html. Acesso em: 27 jun. 2024.

Nesse simulador, é possível realizar o teste de condutividade elétrica de soluções eletrolíticas ácidas ou básicas e modificar, entre outras propriedades, a concentração e a força.

164

Fique por dentro

O boxe traz sugestões que complementam as informações do livro (como filmes, simuladores, artigos, livros), contribuindo para que você seja protagonista do seu aprendizado e da construção do conhecimento.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O recobrimento de superfícies com nanomateriais pode ser chamado de **nanorrevestimento**, termo traduzido do inglês *nanocoating*. As nanopartículas de sílica funcionalizadas têm sido objeto de estudo de grupos de pesquisa que visam incorporá-las em revestimentos de peças metálicas. Eles teriam a função de proteger os materiais da corrosão, que, na maioria das vezes, é causada pela oxidação de metais na presença de água.

Registre em seu caderno

EM FOCO Entre esponjas e detergentes

ODS 14

O vazamento de petróleo no mar é um problema de países como o Brasil, que concentra grande parte da exploração de óleo em ambiente marinho e com tráfego de navios petroleiros entre os locais de exploração e os terminais marítimos. [...] Pelo menos três grupos apresentaram recentemente resultados de pesquisas que poderão se transformar em breve em produtos para descontaminar o oceano. Eles trazem duas vantagens, a de serem biorremediadores – porque são menos tóxicos ao ambiente – e mais baratos que os produtos químicos utilizados atualmente. A primeira tecnologia é de um grupo de pesquisadores da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) composto pelos professores Rochel Lago, Flávia Moura e Maria Helena Araújo. Eles desenvolveram um material capaz de absorver petróleo em acidentes na água ou em terra, denominado nanoesponja hidrofóbica, que repele a água e tem grande afinidade por compostos orgânicos, especialmente óleos.

Derramamento de petróleo no golfo do México, 2010.

[...] "Apresentamos uma plataforma tecnológica que, além da nanoesponja, é composta por um produto chamado nanoamphil contendo nanopartículas de [mineral] vermiculita, núcleos de ferro e nanoestruturas de carbono. Ele atua como um desemulsificante, substância que separa o petróleo da água do mar nas plataformas de exploração. As nanopartículas misturadas no petróleo aderem às gotas de água. Quando aproximamos um ímã as nanopartículas magnéticas do nanoamphil são atraídas pelo campo do ímã provocando a união das gotas. Após poucos minutos ocorre a completa separação da água do petróleo", diz [o doutorando e integrante do grupo Alain] Purceno.

Fonte: SILVEIRA, E.; OLIVEIRA, M. Entre esponjas e detergente. **Pesquisa Fapesp**. São Paulo, ed. 176, out. 2010. Disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/entre-esponjas-e-detergente/. Acesso em: 11 jun. 2024.

1. Analise o procedimento descrito no texto e identifique qual foi a técnica de separação que possibilitou a retirada do petróleo da água do mar.
2. Imagine que, em vez de petróleo, houvesse um vazamento de um navio carregado de etanol. Nesse caso, poderíamos utilizar as nanoesponjas hidrofóbicas para separar o etanol da água do mar? Justifique.
3. Considere um acidente em que houve o vazamento de 4 milhões de barris de petróleo e em que se deseja absorver completamente toda essa quantidade, a fim de evitar danos ambientais. Determine a massa, em toneladas, das nanopartículas magnéticas citadas no texto necessária para absorver todo o petróleo que vazou nesse acidente.

[Dados: 1 barril equivale ao volume de 160 L; 1 grama de nanopartícula magnética absorve até 6 gramas de petróleo; densidade do petróleo = 0,85 g/mL.]
4. Pesquise vazamentos de petróleo que tenham acontecido no Brasil, quais foram as medidas adotadas pelas autoridades responsáveis para resolver o problema e os impactos ambientais imediatamente verificados após os acidentes. Expresse sua pesquisa na forma de um infográfico com linha cronológica.

373

Registre em seu caderno

EM FOCO Combate aos mosquitos

ODS 3

OBJETO DIGITAL
Vídeo: Agenda 2030 e Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

Os pesquisadores da Universidade Federal de Viçosa (UFV) descobriram um novo produto para eliminação do *Aedes aegypti*, transmissor de doenças como dengue, chikungunya, zika e febre amarela. Os cientistas provaram a eficácia de "alquilpoliglicosídeos" na eliminação do mosquito sem danos à saúde humana e o meio ambiente.

De acordo com o Ministério da Saúde, a dengue se tornou um problema de saúde pública no Brasil [no primeiro semestre de 2022]. De janeiro até a terceira semana de agosto, foram mais de 1,3 milhão de casos da doença, quase o triplo do mesmo período do ano passado. Casos de chikungunya e de zika também tiveram aumento acentuado.

A pesquisa trata do uso de **alquilpoliglicosídeos – surfactantes naturais obtidos de fontes renováveis** – para o controle de larvas de mosquitos. [...]

Segundo a divulgação da UFV, os surfactantes propostos são apresentados como uma nova forma de controle de larvas aquáticas, inclusive aquelas resistentes aos inseticidas convencionais, tendo em vista a diferente forma de ação do produto.

"Os alquilpoliglicosídeos interferem no ambiente em que as larvas vivem por meio de alterações na tensão superficial da água, o que dificulta o posicionamento correto das larvas para a realização de trocas gasosas com a atmosfera", explicou.

Vaso de plantas com água parada favorecendo a proliferação de insetos, como o mosquito *Aedes aegypti*. As larvas medem cerca de 1 mm de comprimento.

Ainda conforme a publicação sobre a pesquisa, pela ação ser direcionada ao meio e não no metabolismo, os alquilpoliglicosídeos têm menor probabilidade de selecionar populações resistentes, diferentemente do que ocorre com os inseticidas convencionais.

[...]

Fonte: ALBERTO, F. Pesquisadores em MG descobrem produto que elimina o mosquito da dengue sem danos à saúde humana e ao meio ambiente. **Portal G1**, 13 nov. 2022. Disponível em: https://g1.globo.com/mg/zona-da-mata/noticia/2022/11/13/pesquisadores-em-mg-descobrem-produto-que-elimina-o-mosquito-da-dengue-sem-danos-a-saude-humana-e-ao-meio-ambiente.ghtml. Acesso em: 19 mar. 2024.

1. Quais são as vantagens dos alquilpoliglicosídeos (APG) em relação aos inseticidas tradicionais no combate ao *Aedes aegypti*?
2. O texto indica que o alquilpoliglicosídeo interfere no ambiente em que as larvas do *Aedes aegypti* vivem por meio de alterações da tensão superficial da água. Observe a fórmula estrutural de um APG.

APG

Explique por que o APG interfere na tensão superficial da água e possibilita o controle de larvas aquáticas dos mosquitos.
3. O Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 3, da Agenda da ONU 2030, propõe "Assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todas e todos, em todas as idades". Formem grupos e discutam os pontos a seguir.
   - Quais ações podem ser realizadas pela população para a prevenção e o controle de doenças relacionadas ao *Aedes aegypti*?
   - Quais ações são necessárias para que o produto desenvolvido com o APG contribua para o cumprimento do ODS 3?

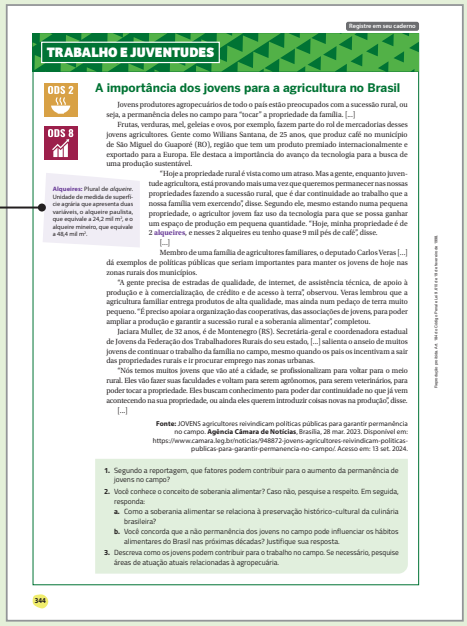
46

Em foco

Seção com textos autorais ou de terceiros acompanhados de atividades que integram o conteúdo a outras áreas de conhecimento e favorecem o exercício da argumentação, leitura inferencial e pensamento crítico.

Trabalho e juventudes

Seção que relaciona o assunto do capítulo com culturas e vivências juvenis, aspectos do mundo do trabalho e/ou do projeto de vida.



Registre em seu caderno

TRABALHO E JUVENTUDES

ODS 2

ODS 8

A importância dos jovens para a agricultura no Brasil

Jovens produtores agropecuários de todo o país estão preocupados com a sucessão rural, ou seja, a permanência deles no campo para "tocar" a propriedade da família. [...]

Frutas, verduras, mel, geleias e ovos, por exemplo, fazem parte do rol de mercadorias desses jovens agricultores. Gente como Willians Santana, de 25 anos, que produz café no município de São Miguel do Guaporé (RO), região que tem um produto premiado internacionalmente e exportado para a Europa. Ele destaca a importância do avanço da tecnologia para a busca de uma produção sustentável.

"Hoje a propriedade rural é vista como um atraso. Mas a gente, enquanto jovem tradicionalista agricultora, está provando mais uma vez que queremos permanecer nas nossas propriedades fazendo a sucessão rural, que é dar continuidade ao trabalho que a nossa família vem exercendo", disse. Segundo ele, mesmo estando numa pequena propriedade, o agricultor jovem faz uso da tecnologia para que se possa ganhar um espaço de produção em pequena quantidade. "Hoje, minha propriedade é de 2 alqueires, e nesses 2 alqueires eu tenho quase 9 mil pés de café", disse.

[...]

Membro de uma família de agricultores familiares, o deputado Carlos Veras [...] dá exemplos de políticas públicas que seriam importantes para manter os jovens de hoje nas zonas rurais dos municípios.

"A gente precisa de estradas de qualidade, de internet, de assistência técnica, de apoio à produção e à comercialização, de crédito e de acesso à terra", observou. Veras lembrou que a agricultura familiar entrega produtos de alta qualidade, mas ainda num pedaço de terra muito pequeno. "É preciso apoiar a organização das cooperativas, das associações de jovens, para poder ampliar a produção e garantir a sucessão rural e a soberania alimentar", completou.

Jaciara Muller, de 32 anos, é de Montenegro (RS). Secretária-geral e coordenadora estadual de Jovens da Federação dos Trabalhadores Rurais do seu estado, [...] salienta o anseio de muitos jovens de continuar o trabalho da família no campo, mesmo quando os pais os incentivam a sair das propriedades rurais e ir procurar emprego nas zonas urbanas.

"Nós temos muitos jovens que vão até a cidade, se profissionalizam para voltar para o meio rural. Eles vão fazer suas faculdades e voltam para serem agrônomos, para serem veterinários, para poder tocar a propriedade. Eles buscam conhecimento para poder dar continuidade no que já vem acontecendo na sua propriedade, ou ainda eles querem introduzir coisas novas na produção", disse.

[...]

Fonte: JOVENS agricultores reivindicam políticas públicas para garantir permanência no campo. **Agência Câmara de Notícias**, Brasília, 28 mar. 2023. Disponível em: https://www.camara.leg.br/noticias/948872-jovens-agricultores-reivindicam-politicas-publicas-para-garantir-permanencia-no-campo/. Acesso em: 13 set. 2024.

1. Segundo a reportagem, que fatores podem contribuir para o aumento da permanência de jovens no campo?
2. Você conhece o conceito de soberania alimentar? Caso não, pesquise a respeito. Em seguida, responda:
   a. Como a soberania alimentar se relaciona à preservação histórico-cultural da culinária brasileira?
   b. Você concorda que a não permanência dos jovens no campo pode influenciar os hábitos alimentares do Brasil nas próximas décadas? Justifique sua resposta.
3. Descreva como os jovens podem contribuir para o trabalho no campo. Se necessário, pesquise áreas de atuação atuais relacionadas à agropecuária.

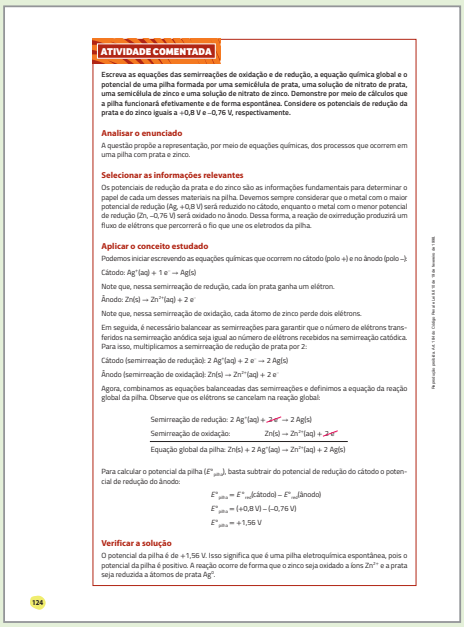
344

Alqueires: Plural de *alqueire*. Unidade de medida de superfície agrária que apresenta duas variáveis, o alqueire paulista, que equivale a 24,2 mil m², e o alqueire mineiro, que equivale a 48,4 mil m².

Glossário

Significado de termos que talvez você ainda não conheça.

Os termos são destacados pelo uso de uma cor diferente do texto e o significado é apresentado em um quadro de mesma cor.



ATIVIDADE COMENTADA

Escreva as equações das semirreações de oxidação e de redução, a equação química global e o potencial de uma pilha formada por uma semicélula de prata, uma solução de nitrato de prata, uma semicélula de zinco e uma solução de nitrato de zinco. Demonstre por meio de cálculos que a pilha funcionará efetivamente e de forma espontânea. Considere os potenciais de redução da prata e do zinco iguais a +0,8 V e –0,76 V, respectivamente.

Analisar o enunciado

A questão propõe a representação, por meio de equações químicas, dos processos que ocorrem em uma pilha com prata e zinco.

Selecionar as informações relevantes

Os potenciais de redução da prata e do zinco são as informações fundamentais para determinar o papel de cada um desses materiais na pilha. Devemos somar considerar que o metal com o maior potencial de redução (Ag, +0,8 V) será reduzido no cátodo, enquanto o metal com o menor potencial de redução (Zn, –0,76 V) será oxidado no ânodo. Dessa forma, a reação de oxirredução produzirá um fluxo de elétrons que percorrerá o fio que une os eletrodos da pilha.

Aplicar o conceito estudado

Podemos iniciar escrevendo as equações químicas que ocorrem no cátodo (polo +) e no ânodo (polo –):

Cátodo: $Ag^+(aq) + 1\,e^- \rightarrow Ag(s)$

Note que, nessa semirreação de redução, cada íon prata ganha um elétron.

Ânodo: $Zn(s) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + 2\,e^-$

Note que, nessa semirreação de oxidação, cada átomo de zinco perde dois elétrons.

Em seguida, é necessário balancear as semirreações para garantir que o número de elétrons transferidos na semirreação anódica seja igual ao número de elétrons recebidos na semirreação catódica. Para isso, multiplicamos a semirreação de redução de prata por 2:

Cátodo (semirreação de redução): $2\,Ag^+(aq) + 2\,e^- \rightarrow 2\,Ag(s)$

Ânodo (semirreação de oxidação): $Zn(s) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + 2\,e^-$

Agora, combinamos as equações balanceadas das semirreações e definimos a equação da reação global da pilha. Observe que os elétrons se cancelam na reação global:

Semirreação de redução: $2\,Ag^+(aq) + 2e^- \rightarrow 2\,Ag(s)$

Semirreação de oxidação: $Zn(s) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + 2e^-$

Equação global da pilha: $Zn(s) + 2\,Ag^+(aq) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + 2\,Ag(s)$

Para calcular o potencial da pilha (E°_{pilha}), basta subtrair do potencial de redução do cátodo o potencial de redução do ânodo:

$$E^\circ_{pilha} = E^\circ_{red}(cátodo) - E^\circ_{red}(ânodo)$$

$$E^\circ_{pilha} = (+0,8\text{ V}) - (-0,76\text{ V})$$

$$E^\circ_{pilha} = +1,56\text{ V}$$

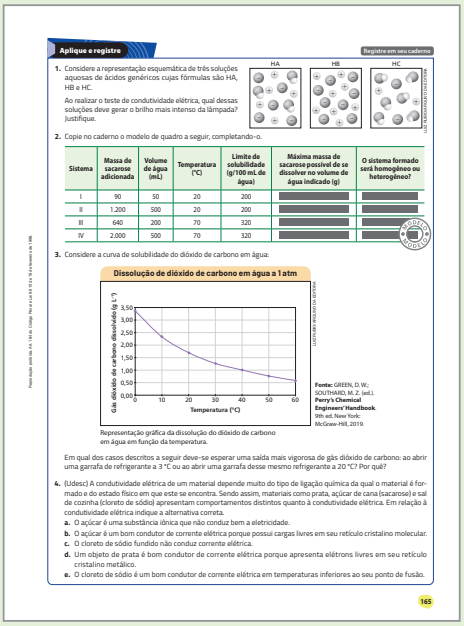
Verificar a solução

O potencial da pilha é de +1,56 V. Isso significa que é uma pilha eletroquímica espontânea, pois o potencial da pilha é positivo. A reação ocorre de forma que o zinco seja oxidado a íons Zn^{2+} e a prata seja reduzida a átomos de prata Ag^0.

124

Atividade comentada

Atividades diversificadas (autorais ou de vestibulares, objetivas ou discursivas) com a resolução apresentada passo a passo. Consiste em uma estratégia de estudo para ajudá-lo na resolução de atividades similares.


Aplique e registre

Registre em seu caderno

1. Considere a representação esquemática de três soluções aquosas de ácidos genéricos cujas fórmulas são HA, HB e HC.

HA HB HC

Ao realizar o teste de condutividade elétrica, qual dessas soluções deve gerar o brilho mais intenso da lâmpada? Justifique.

2. Copie no caderno o modelo de quadro a seguir, completando-o.

Sistema	Massa de sacarose adicionada	Volume de água (mL)	Temperatura (°C)	Limite de solubilidade (g/100 mL de água)	Máxima massa de sacarose possível de se dissolver no volume de água indicado (g)	O sistema formado será homogêneo ou heterogêneo?
I	90	50	20	200		
II	1.200	500	20	200		
III	640	200	70	320		
IV	2.000	500	70	320		

3. Considere a curva de solubilidade do dióxido de carbono em água:

Dissolução de dióxido de carbono em água a 1 atm

Gás dióxido de carbono dissolvido (g · L⁻¹)
3,50
3,00
2,50
2,00
1,50
1,00
0,50
0,00
0 10 20 30 40 50 60
Temperatura (°C)

Fonte: GREEN, D. W.; SOUTHARD, M. Z. (ed.). **Perry's Chemical Engineers' Handbook**. 9th ed. New York: McGraw-Hill, 2019.

Representação gráfica da dissolução do dióxido de carbono em água em função da temperatura.

Em qual dos casos descritos a seguir deve-se esperar uma saída mais vigorosa de gás dióxido de carbono: ao abrir uma garrafa de refrigerante a 3 °C ou ao abrir uma garrafa desse mesmo refrigerante a 20 °C? Por quê?

4. (Udesc) A condutividade elétrica de um material depende muito do tipo de ligação química da qual o material é formado e do estado físico em que este se encontra. Sendo assim, materiais como prata, açúcar de cana (sacarose) e sal de cozinha (cloreto de sódio) apresentam comportamentos distintos quanto à condutividade elétrica. Em relação à condutividade elétrica indique a alternativa correta.
   a. O açúcar é uma substância iônica que não conduz bem a eletricidade.
   b. O açúcar é um bom condutor de corrente elétrica porque possui cargas livres em seu retículo cristalino molecular.
   c. O cloreto de sódio fundido não conduz corrente elétrica.
   d. Um objeto de prata é bom condutor de corrente elétrica porque apresenta elétrons livres em seu retículo cristalino metálico.
   e. O cloreto de sódio é um bom condutor de corrente elétrica em temperaturas inferiores ao seu ponto de fusão.

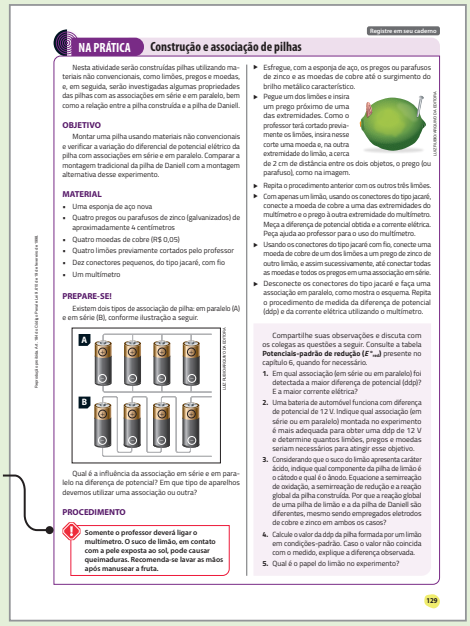
165

Aplique e registre

Boxe com atividades para você praticar e verificar a sua compreensão do conteúdo estudado ao longo do capítulo.

Na prática

A seção propõe uma atividade prática articulada com algum tema abordado no capítulo, para que você tenha contato com procedimentos próprios do fazer científico.


Registre em seu caderno

NA PRÁTICA Construção e associação de pilhas

Nesta atividade serão construídas pilhas utilizando materiais não convencionais, como limões, pregos e moedas, e, em seguida, serão investigadas algumas propriedades das pilhas com as associações em série e em paralelo, bem como a relação entre a pilha construída e a pilha de Daniell.

OBJETIVO

Montar uma pilha usando materiais não convencionais e verificar a variação do diferencial de potencial elétrico da pilha com associações em série e em paralelo. Comparar a montagem tradicional da pilha de Daniell com a montagem alternativa desse experimento.

MATERIAL

- Uma esponja de aço nova
- Quatro pregos ou parafusos de zinco (galvanizados) de aproximadamente 4 centímetros
- Quatro moedas de cobre (R$ 0,05)
- Quatro limões previamente cortados pelo professor
- Dez conectores pequenos, do tipo jacaré, com fio
- Um multímetro

PREPARE-SE!

Existem dois tipos de associação de pilha: em paralelo (A) e em série (B), conforme ilustração a seguir.

A
B

Qual é a influência da associação em série e em paralelo na diferença de potencial? Em que tipo de aparelhos devemos utilizar uma associação ou outra?

PROCEDIMENTO

Somente o professor deverá ligar o multímetro. O suco de limão, em contato com a pele exposta ao sol, pode causar queimaduras. Recomenda-se lavar as mãos após manusear a fruta.

- Esfregue, com a esponja de aço, os pregos ou parafusos de zinco e as moedas de cobre até o surgimento do brilho metálico característico.
- Pegue um dos limões e insira um prego próximo de uma das extremidades. Como o professor terá contado previamente os limões, insira nessa corte uma moeda e, na outra extremidade do limão, a cerca de 2 cm de distância entre os dois objetos, o prego (ou parafuso), como na imagem.
- Repita o procedimento anterior com os outros três limões.
- Com apenas um limão, usando os conectores do tipo jacaré, conecte a moeda de cobre a uma das extremidades do multímetro e o prego à outra extremidade do multímetro. Meça a diferença de potencial obtida e a corrente elétrica. Peça ajuda ao professor para o uso do multímetro.
- Usando os conectores do tipo jacaré com fio, conecte uma moeda de cobre de um dos limões a um prego de zinco de outro limão, e assim sucessivamente, até conectar todas as moedas e todos os pregos em uma associação em série.
- Desconecte os conectores do tipo jacaré e faça uma associação em paralelo, como mostra o esquema. Repita o procedimento de medida da diferença de potencial (ddp) e da corrente elétrica utilizando o multímetro.

Compartilhe suas observações e discuta com os colegas as questões a seguir. Consulte a tabela **Potenciais-padrão de redução (E°_{red})** presente no capítulo 6, quando for necessário.

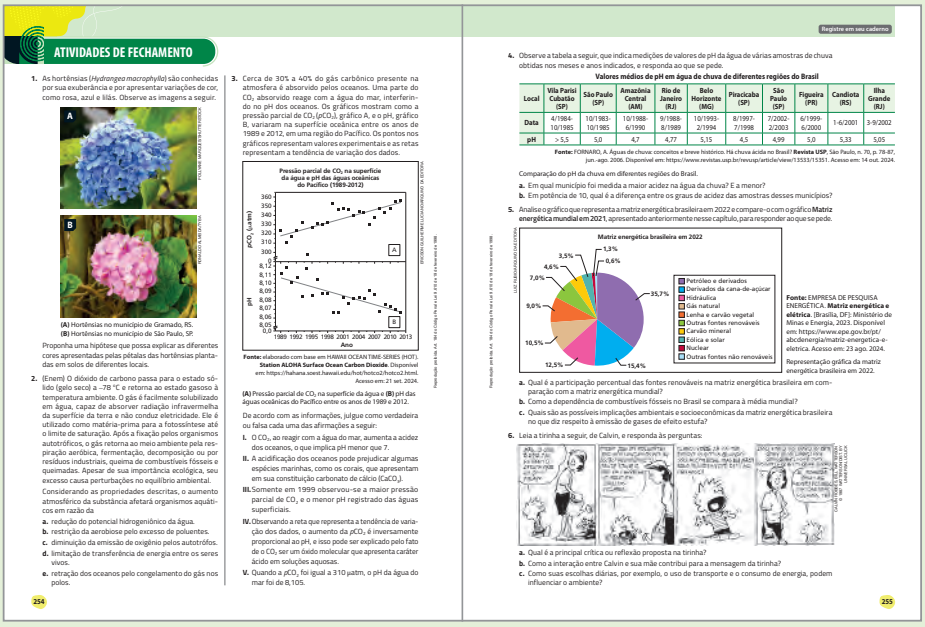
1. Em qual associação (em série ou em paralelo) foi detectada a maior diferença de potencial (ddp)? E a maior corrente elétrica?
2. Uma bateria de automóvel funciona com diferença de potencial de 12 V. Indique qual associação (em série ou em paralelo) montada no experimento é mais adequada para obter uma ddp de 12 V e determine quantos limões, pregos e moedas seriam necessários para atingir esse objetivo.
3. Considerando que o suco de limão apresenta caráter ácido, indique qual componente da pilha de limão é o cátodo e qual é o ânodo. Equacione a semirreação de oxidação, a semirreação de redução e a reação global da pilha construída. Por que a reação global de uma pilha de limão e a da pilha de Daniell são diferentes, mesmo sendo empregados eletrodos de cobre e zinco em ambos os casos?
4. Calcule o valor da ddp da pilha formada por um limão em condições-padrão. Caso o valor não coincida com o medido, explique a diferença observada.
5. Qual é o papel do limão no experimento?

129

Atenção!

Boxe indicando os cuidados que você deve ter em determinadas situações, destacando pontualmente itens essenciais de segurança.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.


ATIVIDADES DE FECHAMENTO

1. As hortênsias (*Hydrangea macrophylla*) são conhecidas por sua exuberância e por apresentar variações de cor, como rosa, azul e lilás. Observe as imagens a seguir.

A
B

(A) Hortênsias no município de Gramado, RS. (B) Hortênsias no município de São Paulo, SP.

Proponha uma hipótese que possa explicar as diferentes cores apresentadas pelas pétalas das hortênsias plantadas em solos de diferentes locais.

2. (Enem) O dióxido de carbono passa para o estado sólido (gelo seco) a –78 °C e retorna ao estado gasoso à temperatura ambiente. O gás é facilmente solubilizado em água, capaz de absorver radiação infravermelha da superfície da terra e não conduz eletricidade. Ele é utilizado como matéria-prima para a fotossíntese até o limite de saturação. Após a fixação pelos organismos autotróficos, o gás retorna ao meio ambiente pela respiração aeróbica, fermentação, decomposição ou por resíduos industriais, queima de combustíveis fósseis e queimadas. Apesar de sua importância ecológica, seu excesso causa perturbações no equilíbrio ambiental.

Considerando as propriedades descritas, o aumento atmosférico da substância afetará organismos aquáticos em razão da
   a. redução do potencial hidrogeniônico da água.
   b. restrição da aerobiose pelo excesso de poluentes.
   c. diminuição da emissão de oxigênio pelos autotróficos.
   d. limitação de transferência de energia entre os seres vivos.
   e. retração dos oceanos pelo congelamento do gás nos polos.

3. Cerca de 30% a 40% do gás carbônico presente na atmosfera é absorvido pelos oceanos. Uma parte do CO_2 absorvido reage com a água do mar, interferindo no pH dos oceanos. Os gráficos mostram como a pressão parcial de CO_2 (pCO_2), gráfico A, e o pH, gráfico B, variaram na superfície oceânica entre os anos de 1989 e 2012, em uma região do Pacífico. Os pontos nos gráficos representam valores experimentais e as retas representam a tendência de variação dos dados.

Pressão parcial de CO_2 na superfície da água e pH das águas oceânicas do Pacífico (1989-2012)

pCO_2 (µatm)
360
350
340
330
320
310
300
8,13
8,11
8,10
8,09
8,08
8,07
8,06
8,05
pH
A
B
1989 1992 1995 1998 2001 2004 2007 2010 2013
Ano

Fonte: elaborado com base em HAWAII OCEAN TIME-SERIES (HOT). **Station ALOHA Surface Ocean Carbon Dioxide**. Disponível em: https://hahana.soest.hawaii.edu/hot/hotco2/hotco2.html. Acesso em: 21 set. 2024.

(A) Pressão parcial de CO_2 na superfície da água e (B) pH das águas oceânicas do Pacífico entre os anos de 1989 e 2012.

De acordo com as informações, julgue como verdadeira ou falsa cada uma das afirmações a seguir:

I. O CO_2, ao reagir com a água do mar, aumenta a acidez dos oceanos, o que implica pH menor que 7.
II. A acidificação dos oceanos pode prejudicar algumas espécies marinhas, como os corais, que apresentam em sua constituição carbonato de cálcio ($CaCO_3$).
III. Somente em 1999 observou-se a maior pressão parcial de CO_2 e o menor pH registrado das águas superficiais.
IV. Observando a reta que representa a tendência de variação dos dados, o aumento da pCO_2 é inversamente proporcional ao pH, e isso pode ser explicado pelo fato de o CO_2 ser um óxido molecular que apresenta caráter ácido em soluções aquosas.
V. Quando a pCO_2 foi igual a 310 µatm, o pH da água do mar foi de 8,105.

254

Registre em seu caderno

4. Observe a tabela a seguir, que indica medições de valores de pH da água de várias amostras de chuva obtidas nos meses e anos indicados, e responda ao que se pede.

Valores médios de pH em água de chuva de diferentes regiões do Brasil

Local	Vila Parisi Cubatão (SP)	São Paulo (SP)	Amazônia Central (AM)	Rio de Janeiro (RJ)	Belo Horizonte (MG)	Piracicaba (SP)	São Paulo (SP)	Figueira (PR)	Candiota (RS)	Ilha Grande (RJ)
Data	4/1984-10/1985	10/1983-10/1985	10/1988-6/1990	9/1988-8/1989	10/1993-2/1994	8/1997-7/1998	7/2002-2/2003	6/1999-6/2000	1-6/2001	3-9/2002
pH	> 5,5	5,0	4,7	4,77	5,15	4,5	4,99	5,0	5,33	5,05

Fonte: FORNARO, A. Águas de chuva: conceitos e breve histórico. Há chuva ácida no Brasil? **Revista USP**, São Paulo, n. 70, p. 78-87, jun.-ago. 2006. Disponível em: https://www.revistas.usp.br/revusp/article/view/13533/15351. Acesso em: 14 out. 2024.

Comparação do pH da chuva em diferentes regiões do Brasil.

   a. Em qual município foi medida a maior acidez na água da chuva? E a menor?
   b. Em potência de 10, qual é a diferença entre os graus de acidez das amostras desses municípios?

5. Analise o gráfico que representa a matriz energética brasileira em 2022 e compare-o com o gráfico **Matriz energética mundial em 2021**, apresentado anteriormente nesse capítulo, para responder ao que se pede.

Matriz energética brasileira em 2022

1,3%
0,6%
35,7%
15,4%
12,5%
10,5%
9,6%
7,0%
4,6%
3,5%
Petróleo e derivados
Derivados da cana-de-açúcar
Hidráulica
Gás natural
Lenha e carvão vegetal
Outras fontes renováveis
Carvão mineral
Eólica e solar
Nuclear
Outras fontes não renováveis

Fonte: EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Matriz energética e elétrica**. [Brasília, DF]: Ministério de Minas e Energia, 2023. Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica. Acesso em: 23 ago. 2024.

Representação gráfica da matriz energética brasileira em 2022.

   a. Qual é a participação percentual das fontes renováveis na matriz energética brasileira em comparação com a matriz energética mundial?
   b. Como a dependência de combustíveis fósseis no Brasil se compara à média mundial?
   c. Quais são as possíveis implicações ambientais e socioeconômicas da matriz energética brasileira no que diz respeito à emissão de gases de efeito estufa?

6. Leia a tirinha a seguir, de Calvin, e responda às perguntas:

   a. Qual é a principal crítica ou reflexão proposta na tirinha?
   b. Como a interação entre Calvin e sua mãe contribui para a mensagem da tirinha?
   c. Como suas escolhas diárias, por exemplo, o uso de transporte e o consumo de energia, podem influenciar o ambiente?

255

Atividades de fechamento

Atividades diversificadas para você aplicar e relacionar conceitos importantes do capítulo.

Registre em seu caderno

EDUCAÇÃO MIDIÁTICA

ODS 4

ODS 16

Inteligência artificial e representações da natureza

A inteligência artificial (IA) tem o potencial de revolucionar a forma como interpretamos a natureza. Com algoritmos sofisticados, a IA pode processar vastas quantidades de dados, identificar padrões complexos e gerar novas perspectivas sobre os fenômenos da natureza. Essas análises podem gerar simulações realistas de sistemas naturais, como o clima, a ecologia e a geologia, que podem ajudar os cientistas, por exemplo, a testar hipóteses, prever eventos, desenvolver soluções para problemas ambientais, analisar imagens e vídeos para identificar mudanças na vegetação, detectar incêndios florestais e monitorar a vida selvagem, entre outras aplicações.

Contudo, a IA, como toda tecnologia, possui ambivalências: pode-se fazer um uso benéfico ou prejudicial dos seus recursos. A inteligência artificial generativa – capaz de gerar textos, vídeos, áudios e imagens a partir de comandos do usuário –, por exemplo, pode facilitar muitos processos criativos, mas também pode ser utilizada para criar *deepfakes*, ou seja, vídeos ou imagens falsas que parecem reais.

No contexto dos fenômenos da natureza, as *deepfakes* podem ser usadas para criar paisagens falsas, animais inexistentes ou eventos climáticos que nunca ocorreram, contribuindo para a disseminação de desinformação e de *fake news*. Além disso, os algoritmos de IA são treinados com grandes volumes de dados, que podem conter vieses sociais e culturais, distorcendo a representação da realidade nos conteúdos gerados. A seguir, temos um exemplo de imagem da Floresta Amazônica real em período de estiagem e outra criada por IA.

A

B

(A) Fotografia aérea da região amazônica em período de estiagem. Manaus (AM), outubro de 2023.
(B) Imagem gerada por inteligência artificial representando a região amazônica em período de estiagem.

Note que, na imagem (B), gerada por IA, apesar de a região de floresta remeter a fotos típicas da Amazônia, há alguns itens incomuns na imagem. Por exemplo, a via sobre a ponte parece ser uma estrada de terra, e não de asfalto ou cimento, como seria esperado. Além disso, apesar de o cenário representar um período de baixa no nível dos rios, há um barco relativamente grande navegando em um trecho com aparentemente pouca água, o que provavelmente não seria possível.

Por isso, é fundamental analisar criticamente textos e imagens gerados por IA. Isso pode ser feito procurando inconsistências visuais, como anomalias na imagem, objetos que não correspondem ao ambiente, sombras que não se alinham com a fonte de luz ou reflexos que não coincidem com a posição dos objetos, ou inconsistências narrativas, isto é, aspectos que fazem uma história ou explicação sem sentido ou sem conexão lógica ou respaldo científico de fontes de informações qualificadas. Para isso, é fundamental consultar fontes adequadas: veículos especializados em verificação de fatos, como as agências de checagem de informações, podem ajudar a avaliar a confiabilidade e a veracidade de um conteúdo. Com o avanço no uso da IA, cresce a demanda por especialistas em processamento de imagem, tanto para a geração de imagens com IA quanto para o desenvolvimento de técnicas de identificação de manipulação de imagens e vídeos utilizando *deepfakes*.

1. Como a IA generativa pode ajudar a compreender fenômenos naturais?
2. Quais são as possíveis consequências benéficas e danosas dessa tecnologia na disseminação de informações sobre esse assunto?

Para iniciar a reflexão sobre essa importante tecnologia e após ter lido o texto anterior, reúna-se com outros dois ou três colegas e discutam as seguintes questões, sistematizando, em tópicos, as opiniões e compreensões do grupo:

Ampliação de repertório

Agora vamos explorar as possibilidades de representar fenômenos da natureza por meio de uma inteligência artificial generativa. Para essa atividade, escolha uma IA generativa de imagem disponível gratuitamente na internet. Vamos utilizá-la para representar fenômenos cotidianos, como o movimento de uma onda, o crescimento de uma planta ou o surgimento de uma tempestade. No mesmo grupo da atividade anterior, acompanhem os seguintes passos.

1. **Escolham um fenômeno:** pode ser um dos sugeridos no enunciado ou outro que desperte o interesse de vocês.
2. **Definam as variáveis:** quais são os principais fatores que influenciam o fenômeno escolhido? (por exemplo: altura da onda, tipo de planta, velocidade do vento).
3. **Criem *prompts* específicos:** formulem perguntas ou comandos objetivos, como "Gere a imagem do broto de uma planta" ou "Demonstre como se forma uma tempestade".
4. **Analisem os resultados:** comparem as imagens geradas com as suas imagens ou outras fontes confiáveis de informações sobre o fenômeno. Identifiquem semelhanças, diferenças e possíveis explicações para os resultados.

Após gerarem conteúdos, discutam:

- Que semelhanças e diferenças o grupo encontrou entre o que foi gerado pela IA e as informações sobre o fenômeno escolhido?
- De que forma o grupo lidou com as diferenças entre os resultados gerados pela IA e as imagens e explicações de outras fontes de informação?

Produção de conteúdo

Com base nas imagens geradas pela IA, os integrantes do grupo vão criar uma narrativa sobre o fenômeno escolhido, em que deverão explicar como este se desenvolve, de modo que faça sentido para outras pessoas. Essa narrativa deve privilegiar as imagens, mas também ter elementos verbais (por meio de texto escrito ou narração em voz).

Dessa forma, a narrativa pode ser uma história em quadrinhos, uma sequência de imagens para redes sociais, um vídeo ou uma apresentação em *slides*. Lembrem-se de que as imagens e os textos (falados ou escritos) devem ser complementares.

Autoavaliação

Este espaço é destinado para reconhecer seus pontos fortes e oportunidades de melhoria em seu processo de aprendizagem. Anote em seu caderno o nível de desempenho para cada critério listado a seguir. Combine previamente com o professor o que é esperado para os níveis de desempenho: avançado, adequado, básico e iniciante. Seguem os critérios adotados para esta proposta:

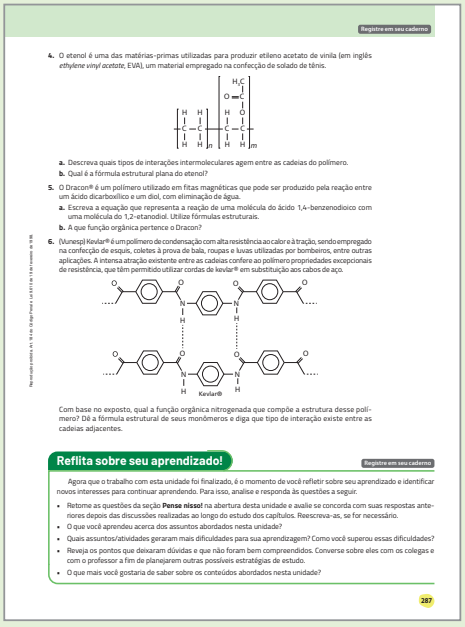
- Refletir sobre os impactos da inteligência artificial nos processos criativos.
- Explorar a inteligência artificial generativa na representação de fenômenos naturais.
- Analisar criticamente os conteúdos gerados por inteligência artificial.
- Explicar um fenômeno da natureza, em um conteúdo midiático, com apoio de inteligência artificial generativa.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Cuide bem deste livro para que outros colegas possam estudar com ele. Lembre-se de fazer anotações e escrever as respostas no caderno.

Educação midiática

A seção final da unidade traz propostas que desenvolvem a alfabetização midiática e informacional a partir de algum tema abordado na unidade.



Registre em seu caderno

4. O etenol é uma das matérias-primas utilizadas para produzir etileno acetato de vinila (em inglês *ethylene vinyl acetate*, EVA), um material empregado na confecção de solado de tênis.

a. Descreva quais tipos de interações intermoleculares agem entre as cadeias do polímero.
b. Qual é a fórmula estrutural plana do etenol?

5. O Dracon® é um polímero utilizado em fitas magnéticas que pode ser produzido pela reação entre um ácido dicarboxílico e um diol, com eliminação de água.
a. Escreva a equação que representa a reação de uma molécula do ácido 1,4-benzenodioico com uma molécula do 1,2-etanodiol. Utilize fórmulas estruturais.
b. A que função orgânica pertence o Dracon?

6. (Unesp) Kevlar® é um polímero de condensação com alta resistência ao calor e à tração, sendo empregado na confecção de esquis, coletes à prova de bala, roupas e luvas utilizadas por bombeiros, entre outras aplicações. A intensa atração existente entre as cadeias confere ao polímero propriedades excepcionais de resistência, que têm permitido utilizar cordas de kevlar® em substituição aos cabos de aço.

Kevlar®

Com base no exposto, qual a função orgânica nitrogenada que compõe a estrutura desse polímero? Dê a fórmula estrutural de seus monômeros e diga que tipo de interação existe entre as cadeias adjacentes.

Reflita sobre seu aprendizado!

Registre em seu caderno

Agora que o trabalho com esta unidade foi finalizado, é o momento de você refletir sobre seu aprendizado e identificar novos interesses para continuar aprendendo. Para isso, analise e responda às questões a seguir.

- Retome as questões da seção **Pense nisso!** na abertura desta unidade e avalie se concorda com suas respostas anteriores depois das discussões realizadas ao longo do estudo dos capítulos. Reescreva-as, se for necessário.
- O que você aprendeu acerca dos assuntos abordados nesta unidade?
- Quais assuntos/atividades geraram mais dificuldades para sua aprendizagem? Como você superou essas dificuldades?
- Reveja os pontos que deixaram dúvidas e que não foram bem compreendidos. Converse sobre eles com os colegas e com o professor a fim de planejarem outras possíveis estratégias de estudo.
- O que mais você gostaria de saber sobre os conteúdos abordados nesta unidade?

287

Reflita sobre seu aprendizado!

Boxe de autoavaliação, que aparece ao final de cada unidade, propondo a retomada das perguntas do **Pense nisso!** e oferecendo a você a oportunidade de refletir sobre os conhecimentos construídos no estudo da unidade.

Símbolos usados nesta coleção

Registre em seu caderno

Este selo indica que você não deve fazer anotações neste livro, pois ele será usado por outro estudante depois de você.

OBJETO DIGITAL

Indica recurso disponível no livro digital.

10 µm

A barra de escala de 1 cm de comprimento indica a proporção entre o tamanho real e o tamanho na imagem do livro.

OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Você sabia que em 2015 foi assinado, na sede da Organização das Nações Unidas (ONU), em Nova York, nos Estados Unidos, um documento em que 193 países, incluindo o Brasil, se comprometeram a tomar medidas importantes para acabar com a pobreza, proteger o meio ambiente e garantir que as pessoas possam desfrutar de paz e de prosperidade? Trata-se da **Agenda 2030**. Nela, são apresentados **17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**, os ODS, que determinam metas transformadoras para promover o desenvolvimento sustentável até 2030. Vamos conhecê-los?

Para que a Agenda 2030 seja cumprida no Brasil e no mundo, é necessário promover engajamento e parcerias entre governos, setor privado e sociedade civil. Além disso, o acompanhamento e a avaliação da implementação devem ocorrer em níveis global, nacional e regional.

RELEITURA DOS ÍCONES DA ONU POR VINICIUS ROSSIGNOL FELIPE

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A seguir, apresentamos cada objetivo da Agenda 2030. No decorrer deste livro, você vai encontrar indicações de ODS sempre que houver propostas, temas ou conceitos relacionados a eles.

ODS 1	**ERRADICAÇÃO DA POBREZA**	Acabar com a pobreza em todas as formas e em todos os lugares.
ODS 2	**FOME ZERO E AGRICULTURA SUSTENTÁVEL**	Erradicar a fome, alcançar a segurança alimentar, melhorar a nutrição e promover a agricultura sustentável.
ODS 3	**SAÚDE E BEM-ESTAR**	Garantir o acesso à saúde de qualidade e promover o bem-estar para todos, em todas as idades.
ODS 4	**EDUCAÇÃO DE QUALIDADE**	Garantir o acesso à educação inclusiva, de qualidade e equitativa e promover oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para todos.
ODS 5	**IGUALDADE DE GÊNERO**	Alcançar a igualdade de gênero e empoderar todas as mulheres e meninas.
ODS 6	**ÁGUA POTÁVEL E SANEAMENTO**	Garantir a disponibilidade e a gestão sustentável da água potável e do saneamento para todos.
ODS 7	**ENERGIA LIMPA E ACESSÍVEL**	Garantir o acesso a fontes de energia confiáveis, sustentáveis e modernas para todos.
ODS 8	**TRABALHO DECENTE E CRESCIMENTO ECONÔMICO**	Promover o crescimento econômico inclusivo e sustentável, com emprego pleno e produtivo e trabalho digno para todos.
ODS 9	**INDÚSTRIA, INOVAÇÃO E INFRAESTRUTURA**	Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação.
ODS 10	**REDUÇÃO DAS DESIGUALDADES**	Reduzir as desigualdades no interior dos países e entre países.
ODS 11	**CIDADES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS**	Tornar as cidades e comunidades mais inclusivas, seguras, resilientes e sustentáveis.
ODS 12	**CONSUMO E PRODUÇÃO RESPONSÁVEIS**	Garantir padrões de consumo e de produção sustentáveis.
ODS 13	**AÇÃO CONTRA A MUDANÇA GLOBAL DO CLIMA**	Adotar medidas urgentes para combater as alterações climáticas e os seus impactos.
ODS 14	**VIDA NA ÁGUA**	Conservar e usar de forma responsável os oceanos, os mares e os recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável.
ODS 15	**VIDA TERRESTRE**	Proteger, restaurar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, reverter a degradação dos solos e preservar a biodiversidade.
ODS 16	**PAZ, JUSTIÇA E INSTITUIÇÕES EFICAZES**	Promover sociedades pacíficas e inclusivas para o desenvolvimento sustentável, proporcionar o acesso à justiça para todos e construir instituições eficazes, responsáveis e inclusivas em todos os níveis.
ODS 17	**PARCERIAS E MEIOS DE IMPLEMENTAÇÃO**	Reforçar os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável.

Fonte: ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/sdgs. Acesso em: 22 set. 2024.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

VINICIUS ROSSIGNOL FELIPE

SUMÁRIO

UNIDADE 1 UNIVERSO, TERRA E VIDA 14
Pense nisso! 14

CAPÍTULO 1 Origem e estrutura dos átomos 15
Introdução ao estudo da Química 15
A fusão nuclear e a formação dos núcleos atômicos 15
Estrutura atômica 17
Massa atômica e abundância isotópica 19
Íons 19
Espectros atômicos 20
Tabela periódica e configuração eletrônica 22
Em foco Minérios que emitem luz 29
Atividades de fechamento 30

CAPÍTULO 2 As ligações covalentes e a química da vida 32
Formação de moléculas 32
Fórmulas químicas e representação de moléculas 34
Compostos orgânicos 35
Geometria molecular, polaridade das ligações e polaridade das moléculas 37
Interações intermoleculares 40
Propriedades da água líquida 42
Em foco Combate aos mosquitos 46
Atividades de fechamento 47

CAPÍTULO 3 Metais e as ligações iônica e metálica 49
Minerais e minérios 50
Os metais e a tabela periódica 51
Na prática Como testar a condutividade elétrica dos materiais? 52
Ligações iônicas 53
Na prática Ligação iônica ou ligação covalente? 56
Ligações metálicas 60
Beneficiamento de minérios 61
Trabalho e juventudes Impactos para além da lama tóxica 62
Atividades de fechamento 64

CAPÍTULO 4 Processos metalúrgicos extrativos 66
Conceitos quantitativos 67
Atividade comentada 69
Reação de combustão e pirometalurgia 70
Previsões das quantidades de reagentes e produtos 72
Em foco Siderurgia verde 80
Atividades de fechamento 81
Reflita sobre seu aprendizado! 82
Educação Midiática Explorando os vieses da informação 83

UNIDADE 2 ENERGIA E SUSTENTABILIDADE 85
Pense nisso! 85

CAPÍTULO 5 Termoquímica 86
Calor e temperatura 86
Processos de transferência de energia térmica 86
Quantidade de calor 87
Entalpia 88
Atividade comentada 92
Lei de Hess e entalpia-padrão 93
Na prática Explorando a lei de Hess com algoritmos 97
Entalpia de ligação química 99
A Termoquímica e o metabolismo 100
Em foco Termoquímica e metabolismo 101
Atividades de fechamento 102

CAPÍTULO 6 Oxirredução 104
Conceitos fundamentais 105
Atividade comentada 107
Balanceamento das equações químicas de oxirredução 107
Espontaneidade das reações de oxirredução 110
Em foco Saúde e as reações de oxirredução 116
Atividades de fechamento 118

CAPÍTULO 7 Pilhas e baterias comerciais 120
Pilha de Daniell 121

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Diferença de potencial da pilha 123
Atividade comentada 124
Pilhas e baterias primárias 125
Pilhas e baterias secundárias 126
Na prática Construção e associação de pilhas 129
Durabilidade e descarte de pilhas e baterias 130
Em foco O futuro das baterias 131
Atividades de fechamento 133

CAPÍTULO 8 Materiais renováveis e biodegradáveis 135
Biocombustíveis 136
Polímeros sintéticos 145
Trabalho e juventudes Sustentabilidade na era pós-pandêmica 149
Atividades de fechamento 151
Reflita sobre seu aprendizado! 152
Educação Midiática Ativismo ambiental nas redes sociais 153

UNIDADE 3 ÁGUA E ALIMENTOS 155
Pense nisso! 155

CAPÍTULO 9 Água potável: parâmetros físico-químicos 156
Água mineral natural 156
Propriedades das soluções 157
Atividade comentada 161
Atividades de fechamento 170

CAPÍTULO 10 Água potável: métodos de obtenção 172
Estação de tratamento de água 172
Trabalho e juventudes Acesso à água tratada e impactos na vida dos jovens 176
Dessalinização 178
Atividade comentada 180
Em foco Dessalinização para abastecimento hídrico 186
Atividades de fechamento 188

CAPÍTULO 11 Cinética química e a conservação de alimentos 190
Rapidez ou taxa média de reação 191
Modelos explicativos e influência do meio na rapidez de uma reação 194
Na prática Deterioração de alimentos 197
Fatores que influenciam a rapidez da reação 198
Lei cinética 202
Atividades de fechamento 205

CAPÍTULO 12 Equilíbrio químico e a produção de fertilizantes nitrogenados 208
Representação de processos irreversíveis, reversíveis e em equilíbrio 209
Aspectos quantitativos das reações reversíveis em sistemas homogêneos 210
Fatores que alteram a composição de uma mistura em equilíbrio 214
Atividade comentada 217
Em foco O processo de Haber-Bosch 220
Atividades de fechamento 221
Reflita sobre seu aprendizado! 222
Educação Midiática Diversificando fontes de informação 223

UNIDADE 4 TRANSFORMAÇÕES E MOVIMENTOS 225
Pense nisso! 225

CAPÍTULO 13 Hidrocarbonetos 226
Hidrocarbonetos e suas formas de representação 227
Atividade comentada 235
Propriedades dos compostos orgânicos 238
Atividades de fechamento 242

CAPÍTULO 14 Combustíveis fósseis e chuva ácida 244
Principais fontes não renováveis de energia 245
Os impactos da queima de combustíveis fósseis 249
Os óxidos e a chuva ácida 250
Em foco Como prevenir a formação de chuva ácida? 253
Atividades de fechamento 254

CAPÍTULO 15 Substâncias que afetam a prática esportiva 256
Isomeria 257

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Na prática Classificação dos compostos orgânicos .. 258
Atividade comentada 262
Substâncias proibidas antes e/ou durante as competições 263
Em foco Atleta é condenada por *doping* 270
Atividades de fechamento 271

CAPÍTULO 16 Polímeros nos esportes 273
Polímeros 274
Em foco Supertrajes na natação 280
Trabalho e juventudes Jovem aprendiz: experiências de vida e desenvolvimento profissional 284
Atividades de fechamento 286
Reflita sobre seu aprendizado! 287
Educação Midiática Confiabilidade das informações sobre mudanças climáticas 288

UNIDADE 5 SAÚDE HUMANA 290
Pense nisso! 290

CAPÍTULO 17 Estrutura espacial e atividade biológica – Estereoisomeria 291
Isômeros *cis-trans* 292
Enantiômeros 295
Atividade comentada 297
Na prática Polarização da luz 298
Em foco Talidomida: de vilã a heroína? 302
Atividades de fechamento 304

CAPÍTULO 18 Reações orgânicas e substâncias bioativas 306
Tabaco 307
Analgésicos 314
Atividade comentada 316
Em foco Penicilinas 317
Bebidas alcoólicas 319
A síntese do ibuprofeno e a Química Verde 323
Atividades de fechamento 324

CAPÍTULO 19 Nutrientes 325
Lipídios 326
Na prática Os lipídios presentes nos alimentos 328
Glicídios 330
Atividade comentada 331
Em foco Epidemia de diabetes em indígenas em MT 334
Proteínas 335
Micronutrientes 339
A energia dos alimentos 342
Trabalho e juventudes A importância dos jovens para a agricultura no Brasil 344
Atividades de fechamento 345

CAPÍTULO 20 Equilíbrio químico e sistema-tampão 347
Equilíbrios ácido-base 348
Atividade comentada 350
Relação entre as constantes de equilíbrio ácido-base e o pH 351
Perturbações do equilíbrio ácido-base 354
Soluções-tampão 356
Equilíbrio de solubilidade e formação de cáries 357
Atividades de fechamento 359
Reflita sobre seu aprendizado! 361
Educação Midiática Influência das redes sociais na saúde 362

UNIDADE 6 MUNDO TECNOLÓGICO 364
Pense nisso! 364

CAPÍTULO 21 Nanociência 365
A ordem de grandeza nano 366
Breve histórico dos nanomateriais 366
Estrutura e características dos nanomateriais 368
Processos para obtenção de nanomateriais 369
Aplicações dos nanomateriais 372
Em foco Entre esponjas e detergentes 373
Atividade comentada 375
Trabalho e juventudes Empreendedorismo e o potencial criativo das juventudes 377
Atividades de fechamento 379

CAPÍTULO 22 Proteções contra corrosão e processos eletrolíticos 381
Corrosão dos metais 382
Em foco Laboratórios da USP estudam revestimentos inteligentes com poder de autorreparação 386
Eletrometalurgia 387
Atividade comentada 392
Atividades de fechamento 396

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO 23 Adulteração de combustíveis, alimentos e bebidas 399
Análise de misturas 400
Na prática Estudando a flutuação 403
Diluição e medidas de concentração 405
Em foco Bactérias ajudam a tratar água utilizada por refinarias de petróleo 407
Efeitos crioscópico e ebulioscópico 409
Determinando a concentração de uma amostra por titulação 411
Atividades de fechamento 415

CAPÍTULO 24 Equilíbrio heterogêneo e técnicas de separação de misturas 417
Reações de precipitação e produto de solubilidade (K_s) 418
Na prática Padrões da relação matemática entre K_s e s 421
Atividade comentada 423
Interações intermoleculares e separação de misturas 424
Atividades de fechamento 430
Reflita sobre seu aprendizado! 431
Educação Midiática Inteligência artificial e representações da natureza 432

TABELA PERIÓDICA 434
RESPOSTAS 435
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS COMENTADAS 438

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

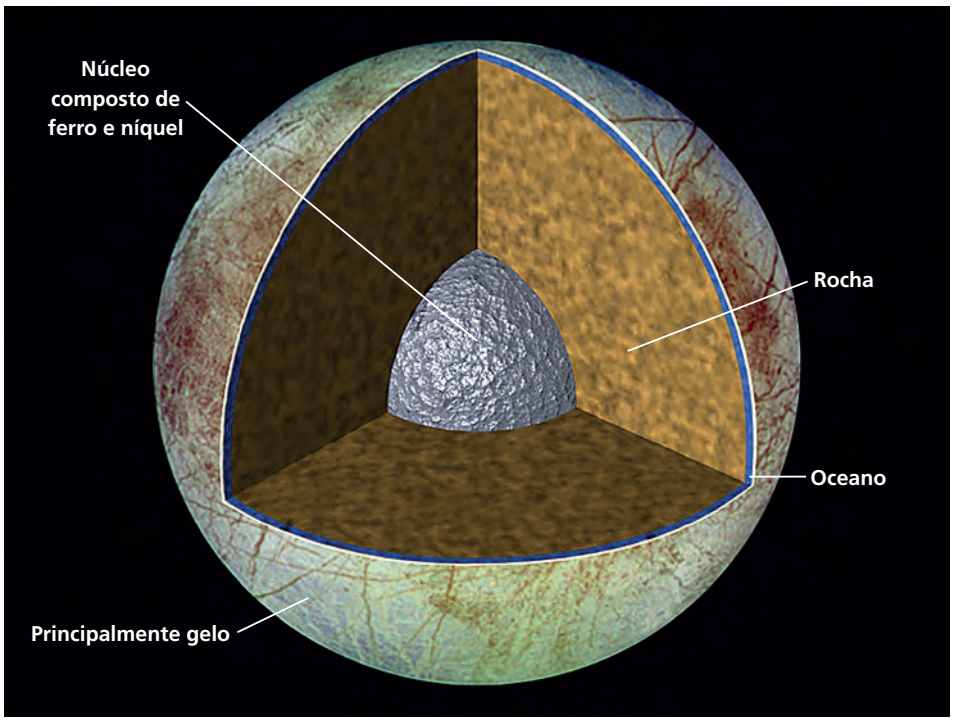
SUMÁRIO DOS OBJETOS DIGITAIS

Vídeo: Agenda 2030 e Objetivos de Desenvolvimento Sustentável 46
Vídeo: Terras raras 52
Mapa clicável: Substâncias metálicas no Brasil 61
***Podcast*:** O impacto dos processos metalúrgicos na saúde dos trabalhadores 66
Mapa clicável: Acesso à água potável no Brasil 176
Carrossel de imagens: É possível tornar a água do mar própria para consumo? 178
Infográfico clicável: Pasteurização na conservação de alimentos 198
Vídeo: O uso de fertilizantes nitrogenados na produção agrícola 216
***Podcast*:** Um resumo histórico sobre a chuva ácida 244
Infográfico clicável: Um brilho na escuridão 245
***Podcast*:** Exames para controle de dopagem em atletas 263
Infográfico clicável: Esporte paralímpico: ciência, tecnologia e inclusão 273
Vídeo: Polímeros, plásticos e sustentabilidade 274
Carrossel de imagens: Categorias alimentares 325
***Podcast*:** O que a história da margarina tem a ver com a Química? 329
Carrossel de imagens: Ativismo nas redes 362
Infográfico clicável: Nanotecnologia na agricultura 372

UNIDADE 1

UNIVERSO, TERRA E VIDA

A abertura proposta aborda a possibilidade de vida em outros planetas. A presença de água líquida é fator fundamental na busca por vida extraterrestre, uma vez que a água é essencial para que ocorram reações químicas que possibilitam a existência da vida como a conhecemos. O trabalho em conjunto dos componentes curriculares da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias se dá pelo debate das inúmeras condições físico-químicas necessárias para que exista vida.



JPL/NASA

Representação artística em corte de um dos satélites do planeta Júpiter, o Europa. Pesquisas indicam que ele pode apresentar até duas vezes a quantidade de água que há nos oceanos do planeta Terra, além de um núcleo composto de ferro e níquel coberto por uma camada rochosa, bem como outras condições que podem possibilitar a existência da vida como a conhecemos. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O tema desta unidade também é trabalhado nos volumes de Biologia e de Física desta coleção.

Nesta unidade, vamos estudar como os átomos se formaram nas estrelas, de que eles são constituídos e quais são suas principais classificações. Posteriormente, vamos explorar a organização dos elementos químicos na tabela periódica e entender como alguns átomos estabelecem ligações químicas entre si, podendo formar, por exemplo, a água, substância cujas propriedades permitem a existência da vida como a conhecemos. Além disso, daremos enfoque a alguns cálculos químicos e aos processos de extração dos metais, atividade conhecida como metalurgia.

Registre em seu caderno

Pense nisso!

1. Como você explica a necessidade de cientistas proporem diferentes modelos para a constituição da matéria ao longo dos anos?
2. Ao investigar indícios da possível presença de vida em outros planetas, cientistas buscam a presença de água em estado líquido. Por quê?
3. Quais propriedades geralmente apresentadas pelos metais podem explicar seu uso na fabricação de diferentes materiais e objetos do cotidiano?
4. Que etapas você acredita que seriam necessárias para obter a partir de um minério os metais usados para a produção do aço?

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Capítulo 1

Origem e estrutura dos átomos

ANDRE DIB/PULSAR IMAGENS

Vista do céu na comunidade quilombola Kalunga em Alto Paraíso de Goiás (GO), considerada um dos dez municípios do Brasil mais apropriados para observar as estrelas. 2022.

De que forma surgiu o Universo? Essa pergunta tem impulsionado diversos estudos científicos. Uma das teorias é que o Universo teria surgido da rápida expansão de uma singularidade – um ponto que não tem dimensão, mas apresenta uma densidade infinita – que continha toda a matéria e a energia do Universo em densidade e temperatura extremamente altas. Após alguns segundos do início do processo de expansão, teria havido uma queda rápida na temperatura, que teria possibilitado a formação de núcleos atômicos. Ao atingir aproximadamente 3.500 K, os núcleos atômicos teriam interagido com partículas de carga elétrica oposta, os elétrons, formando átomos.

Para você, o que difere um átomo de outro e como essa diferença está relacionada com as propriedades da matéria? É isso que vamos explorar neste capítulo.

Introdução ao estudo da Química

A Química, como a Biologia e a Física, faz parte das Ciências da Natureza, ou Ciências Naturais, sendo uma das subdivisões do conhecimento científico. E qual é o principal foco de estudo da Química? A Química é a área das Ciências da Natureza que se dedica a investigar a composição da matéria, suas propriedades e suas transformações.

Na sequência deste capítulo, serão abordados a origem dos átomos (constituintes da matéria do Universo) e os modelos que os descrevem.

A fusão nuclear e a formação dos núcleos atômicos

A progressiva expansão com consequente resfriamento do Universo permitiu a combinação de diferentes tipos de *quarks*, partículas elementares de carga fracionária, levando à formação de prótons (núcleo do átomo de hidrogênio, $^{1}_{1}H$) e de nêutrons, ainda

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

no período conhecido como Era da Luz, após o *Big Bang*. Cerca de três minutos após a formação do Universo, a temperatura era de $11{,}6 \cdot 10^9$ K. Nessa condição, a colisão entre prótons e nêutrons livres levou à **nucleossíntese**, ou seja, à formação de núcleos atômicos mais complexos – agregados entre próton(s) e nêutron(s) – por meio de um processo denominado **fusão nuclear**.

O físico alemão Hans Albrecht Bethe (1906-2005) realizou cálculos demonstrando que a energia das estrelas provém da reação de fusão nuclear na qual se convertem núcleos de hidrogênio em núcleos de hélio. Esse processo pode ser representado por meio da equação a seguir.

$$4\ {}_{1}^{1}\mathrm{H} \rightarrow {}_{2}^{4}\mathrm{He} + 2\ e^{+} + \text{energia}$$

Nesse processo, os núcleos de hidrogênio estão sendo convertidos em núcleos de hélio, até o momento em que o hidrogênio se esgota. Quando isso ocorre, se a massa da estrela for suficiente, tem início a fusão de núcleos de hélio, gerando núcleos de carbono (C), importantes para o desenvolvimento da vida como a conhecemos.

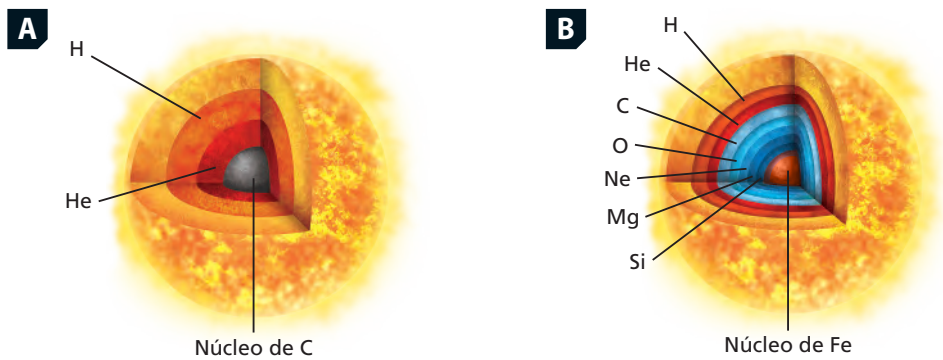
$$3\ {}_{2}^{4}\mathrm{He} \rightarrow {}_{6}^{12}\mathrm{C} + e^{+} + e^{-} + \gamma$$

Comente com os estudantes que, além dos elementos, no processo de fusão são formados elétrons (e^-), pósitrons (e^+) e radiação gama (γ).

Quando o hélio se esgota, se a massa da estrela for suficiente, os núcleos de carbono se fundem e formam núcleos de oxigênio (O). Dependendo da massa da estrela, a cadeia de reações nucleares pode prosseguir até a formação de núcleos de ferro (Fe).

Mas nem todas as estrelas têm as características necessárias para que ocorra a fusão nuclear até a síntese de ferro, pois isso exige uma massa dezenas de vezes maior que a massa do Sol. A figura **A**, a seguir, representa o estágio final de uma estrela de aproximadamente três massas solares, e a figura **B**, uma estrela com mais de dez massas solares. Nas imagens, estão indicadas as camadas da estrutura estelar e os núcleos atômicos que passam por fusão nuclear em cada uma delas, formando núcleos com maior número de partículas. A parte brilhante externa representa um envoltório de hidrogênio, no qual não ocorrem reações nucleares.

Camadas internas das estrelas



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Fonte: ARANY-PRADO, L. I. **À luz das estrelas**. 2017. Disponível em: https://ciencianautas.com/wp-content/uploads/2021/10/A-Luz-das-Estrelas.pdf. Acesso em: 3 out. 2024.

Representação esquemática do interior de estrelas pouco antes de chegarem às etapas finais de sua evolução. As faixas indicadas com a identidade dos núcleos atômicos correspondem às regiões em que eles passam por fusão, formando núcleos com maior número de partículas. **(A)** Estrela de cerca de três massas solares. **(B)** Estrela de mais de dez massas solares. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Quando a fonte de energia da estrela se esgota totalmente e sua evolução chega ao fim, seus núcleos atômicos são espalhados no meio interestelar, e novas estrelas e planetas podem ser formados a partir desse material.

Outros processos devem ocorrer para que sejam formados núcleos com maior número de prótons que os núcleos de ferro. Alguns exemplos: a fusão por meio de captura de nêutrons (que pode acontecer pela captura lenta – **processo-s** – ou pela captura rápida – **processo-r**) e a fusão por meio da captura de prótons (**processo-p**). Esses processos costumam ocorrer em regiões com prótons e nêutrons de alta energia em abundância, como em explosões de estrelas massivas ao final de sua vida, fenômeno denominado **supernova**.

Estrutura atômica

Inicie o tópico apresentando os dados da tabela "Carga e massa relativas de partículas subatômicas", enfatizando as diferenças entre as partículas. Retome conhecimentos prévios dos estudantes sobre a neutralidade elétrica do átomo, refletindo sobre como deve ser a estrutura atômica em relação à quantidade de prótons e de elétrons.

Os átomos são constituídos de partículas subatômicas, como prótons, nêutrons e elétrons. Os **prótons** foram identificados em estudos publicados em 1919 pelo físico neozelandês Ernest Rutherford (1871-1937). Os **nêutrons**, embora previstos em diversas pesquisas e trabalhos experimentais desenvolvidos por outros cientistas da época, só foram identificados mais de uma década depois, em 1932, pelo físico britânico James Chadwick (1891-1972). Os **elétrons** foram identificados e caracterizados graças aos trabalhos publicados em 1904 e 1909, do físico inglês Joseph John Thomson (1856-1940) e do físico estadunidense Robert Millikan (1868-1953), respectivamente.

Os estudos conduzidos ao longo dos anos demonstraram que prótons ($\mathbf{p}^+$), nêutrons (**n**) – ambos constituintes do núcleo atômico – e elétrons ($\mathbf{e}^-$) – distribuídos na eletrosfera do átomo – apresentam massas e cargas diferentes entre si e que essas propriedades influenciam a estrutura e o comportamento de um átomo.

Os valores relativos de massa e de carga para essas três partículas subatômicas são apresentados na tabela a seguir. Embora seja possível medir a massa das partículas em gramas, é mais comum utilizar a unidade de **massa atômica unificada (u)**, que equivale a $1{,}6605402 \cdot 10^{-27}$ kg.

Carga e massa relativas de partículas subatômicas

Partícula	Carga	Massa (u)
Próton (p^+)	+1	1,0
Nêutron (n)	0	1,0
Elétron (e^-)	–1	0,00054

Fonte: BROWN, T. L. *et al.* **Chemistry**: The Central Science. 14th ed. New York: Pearson, 2018.

Comparação dos valores de carga e massa relativas de próton, nêutron e elétron.

Observe que a massa de um elétron é cerca de 2 mil vezes menor que a massa das partículas nucleares. Isso está de acordo com a interpretação de Rutherford para os resultados experimentais obtidos nos estudos acerca da estrutura atômica que indicaram que praticamente toda a massa do átomo concentra-se em seu núcleo.

Caso os estudantes não se recordem das características do modelo proposto por Rutherford, retome brevemente o objeto de conhecimento "estrutura da matéria" do Ensino Fundamental.

Mas o que diferencia um tipo de átomo do outro, se todos são formados pelos mesmos tipos de partículas? A resposta para essa pergunta reside no conceito de **elemento químico**, que mudou ao longo do tempo.

As primeiras concepções a respeito de átomos e elementos químicos eram fruto de reflexões filosóficas e foram introduzidas por gregos na Antiguidade. Demócrito, no século V a.C., já propunha que a matéria era constituída de pequenas partes indivisíveis (chamadas de átomos), as quais, combinadas de forma adequada, produziriam as propriedades macroscópicas observadas. O químico francês Antoine Laurent-Lavoisier (1743-1794) compreendia os elementos químicos como as substâncias mais fundamentais que se poderia identificar por meio de análises químicas – o que, em termos atuais, seriam as substâncias simples. É importante destacar que uma **substância** é uma porção de matéria de composição constante, ou seja, composta apenas de um tipo de unidade estrutural submicroscópica e que pode ser caracterizada por propriedades como densidade, temperatura de ebulição e temperatura de fusão. Já uma **substância simples** é aquela formada por apenas um elemento químico. Foi o químico inglês John Dalton (1766-1844) quem associou a ideia de elementos químicos a átomos. Segundo ele, as propriedades que caracterizavam os elementos químicos resultavam das massas dos átomos. Dalton foi o primeiro a propor um método para determinar as massas atômicas relativas dos elementos químicos.

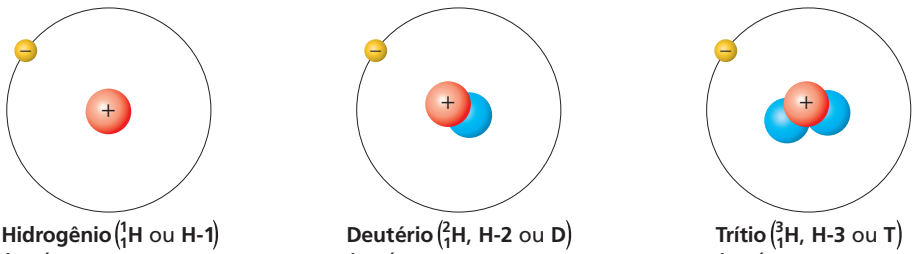
Todo o conhecimento a respeito dos átomos se deve às complexas pesquisas realizadas e ao trabalho colaborativo entre cientistas, assim como à existência de controvérsias. Note, portanto, a complexidade da construção dos conhecimentos científicos, já que, ao longo dos séculos, a visão acerca da natureza e a perspectiva da Ciência se alteram.

Atualmente, chamamos de elementos químicos os conjuntos de diferentes tipos de átomos caracterizados por seu número de prótons, e não mais por sua massa. Essa quantidade é referenciada como **número atômico**, simbolizado por ***Z***. Assim, todo átomo com sete prótons no núcleo ($Z = 7$), por exemplo, é classificado como elemento químico nitrogênio (N) e pode ser representado por ${}_7\mathrm{N}$.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Essa definição tem relação principalmente com dois trabalhos: um de 1913, do físico britânico Henry Moseley (1887-1915), e outro de 1919, do químico inglês Francis W. Aston (1877-1945). Analisando a emissão de raios X por átomos bombardeados por feixes de elétrons em alta velocidade, Moseley observou que a frequência da radiação emitida era característica de cada tipo de átomo e se relacionava ao número de cargas positivas no núcleo atômico. Na busca de uma explicação a respeito da inexatidão das massas atômicas determinadas pelos químicos da época, Aston, utilizando um equipamento construído por ele – denominado espectrógrafo de massas –, verificou a existência de uma variedade de átomos de mesmas propriedades químicas, mas com diferentes massas atômicas, os quais chamou de **isótopos**. Ou seja, em termos atuais, entende-se que isótopos são átomos de um mesmo elemento químico com o mesmo número de prótons, mas diferentes números de nêutrons. Observe os exemplos a seguir.

Isótopos de hidrogênio



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em BROWN, T. L. *et al*. **Chemistry**: The Central Science. 14th ed. New York: Pearson, 2018.

Representação esquemática dos isótopos de hidrogênio com base no modelo atômico de Rutherford. Cada um dos átomos apresenta um próton no núcleo (em vermelho, com um sinal +) e um elétron na eletrosfera (em amarelo, com um sinal de –). O número de nêutrons (em azul) varia entre os isótopos. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Chame a atenção dos estudantes para o fato de que o número de nêutrons é simbolizado por *N*, enquanto a partícula nêutron é simbolizada por n.

Perceba na representação de cada isótopo que a notação H-1, H-2 e H-3 enfatiza a soma do número de prótons (ou número atômico, Z) e do **número de nêutrons** (***N***) no núcleo atômico, quantidade conhecida como **número de massa (*A*)**. Na representação do isótopo, no lado que antecede o símbolo do elemento químico, o número inferior é o número atômico, enquanto o número superior é o número de massa.

Alguns isótopos são átomos instáveis, ou seja, seus núcleos passam por um processo chamado **decaimento nuclear**, de forma espontânea, gerando um isótopo diferente ou, ainda, um átomo de outro elemento químico. Por exemplo, os isótopos carbono-14 (C-14), produzidos continuamente no bombardeio da atmosfera terrestre por raios cósmicos, são instáveis. Eles acabam sendo incorporados pelos organismos vivos por meio de etapas do ciclo do carbono. Com o passar do tempo, esses átomos se transformam em átomos de outro elemento químico, o nitrogênio-14 ($^{14}_{7}$N ou N-14). Tal redução no total de C-14 pode ser quantificada e utilizada em pesquisas geológicas para a datação de fósseis e materiais arqueológicos, sendo uma técnica muito usada para materiais com até cerca de 50 mil anos.

Para materiais mais antigos, como as primeiras rochas ou os fósseis dos primeiros seres vivos do planeta, é necessário usar isótopos com meia-vida mais longa que a do C-14, como os de urânio (U) e tório (Th), que permitem a datação de amostras com até vários bilhões de anos.

Além da classificação de isótopos, dois ou mais átomos podem ter o mesmo número de massa, e, nesse caso, podem ser classificados como **isóbaros**. Já se tiverem o mesmo número de nêutrons, podem ser classificados como **isótonos**.

Fique por dentro

Cientistas mulheres tiveram papel fundamental na descoberta de elementos químicos

CONSELHO FEDERAL DE QUÍMICA. Cientistas mulheres tiveram papel fundamental na descoberta de elementos químicos. **CFQ**, mar. 2020. Disponível em: https://cfq.org.br/noticia/cientistas-mulheres-tiveram-papel-fundamental-na-descoberta-de-elementos-quimicos/. Acesso em: 30 abr. 2024.

Conheça as cientistas que contribuíram para a identificação de alguns dos elementos químicos conhecidos até então.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Massa atômica e abundância isotópica

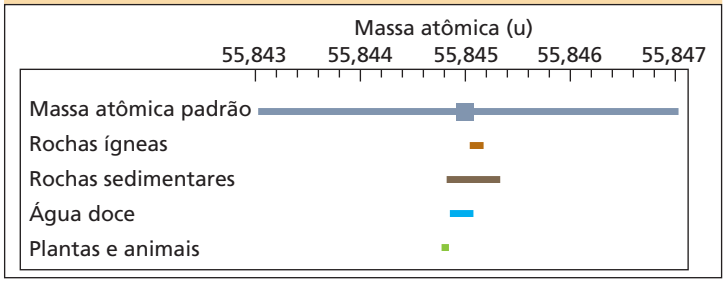
Os isótopos ocorrem na natureza em proporções variadas. A figura a seguir apresenta o exemplo do elemento químico ferro, presente na natureza na forma de quatro isótopos: ^{54}Fe, ^{56}Fe, ^{57}Fe e ^{58}Fe, dos quais o mais abundante é o de número de massa 56. Uma consequência da abundância isotópica variável é o fato de o valor da **massa atômica padrão** (***MA***) dos elementos químicos ser a média ponderada das massas atômicas dos isótopos:

$$MA(\text{Fe}) = \frac{(53{,}940\ \text{u} \cdot 5{,}85) + (55{,}935\ \text{u} \cdot 91{,}75) + (56{,}935\ \text{u} \cdot 2{,}12) + (57{,}933\ \text{u} \cdot 0{,}28)}{100} = 55{,}845\ \text{u}$$

A massa atômica padrão para o elemento químico ferro é 55,845 u. Observe que ela não representa bem a massa atômica dos isótopos de ferro encontrados em rochas ígneas ou em plantas e animais. Ou seja, cada ambiente favorece preferencialmente um tipo de isótopo em detrimento de outro.

Em 1961, na Conferência da União Internacional de Química Pura e Aplicada (International Union of Pure and Applied Chemistry – IUPAC), em acordo com a União Internacional de Física Pura e Aplicada (International Union of Pure and Applied Physics – IUPAP), foi adotado o isótopo carbono-12 (^{12}C) como padrão na medida de massa atômica dos demais elementos químicos. Antes, o padrão era o oxigênio. Assim, uma unidade de massa atômica 1 u corresponde a $\frac{1}{12}$ da massa atômica do átomo de C-12 e equivale a aproximadamente $1{,}66 \cdot 10^{-24}$ g. Note que as massas atômicas são medidas relativas.

Massa atômica dos isótopos de ferro em amostras de fontes variadas



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em WIESER, M. E.; COPLEN, T. B. Atomic weights of the elements 2009. **Pure and Applied Chemistry**, Genebra, v. 83, 2011.

As barras do diagrama indicam que há uma variedade de massas possíveis para esse elemento químico em razão da existência de isótopos.

Íons

Em certas condições, um átomo pode perder ou receber um ou mais elétrons. O resultado desses desequilíbrios das cargas elétricas (número de elétrons diferente do número de prótons) é a formação de **íons**. Caso o íon tenha pelo menos um elétron a menos que o número de prótons, ele será chamado de **cátion**; no caso contrário, de **ânion**. A carga elétrica do íon é representada no canto superior direito da representação convencional. Acompanhe os exemplos a seguir.

Características de alguns íons

Representação simbólica	Descrição	Número de partículas subatômicas
$^{27}_{13}A\ell$	Átomo do elemento alumínio	$p^+ = 13$; $e^- = 13$; $n = 14$
$^{27}_{13}A\ell^{3+}$	Cátion trivalente do elemento alumínio	$p^+ = 13$; $e^- = 10$; $n = 14$
$^{16}_{8}O$	Átomo do elemento oxigênio	$p^+ = 8$; $e^- = 8$; $n = 8$
$^{16}_{8}O^{2-}$	Ânion bivalente do elemento oxigênio	$p^+ = 8$; $e^- = 10$; $n = 8$

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

1. Leia as informações fornecidas e consulte a tabela periódica que consta no final deste livro. Determine e escreva a notação representativa do isótopo de cada elemento químico relacionado a cada item a seguir, com símbolo, número atômico e número de massa.

a. $Z = 3$; $A = 7$ **b.** Fe; $n = 30$ **c.** $A = 19$; $Z = 9$ **d.** Pb; $A = 207$ **e.** $Z = 30$; $n = 35$

2. O sódio está presente em nosso cotidiano como um componente essencial do sal de cozinha, desempenhando um papel importante na culinária e no sabor dos alimentos. No sal de cozinha, ele se apresenta na forma de cátion monovalente. Considerando um isótopo de sódio de número de massa igual a 23, determine o número de prótons, nêutrons e elétrons do cátion monovalente do isótopo referido.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

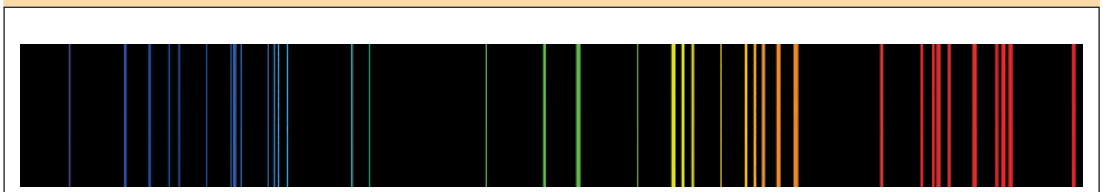
Espectros atômicos

De maneira geral, os átomos de um mesmo elemento químico apresentam propriedades químicas e físicas similares. Algumas delas estão relacionadas à distribuição dos elétrons na eletrosfera do átomo. O estudo desses arranjos eletrônicos é a base para a caracterização de diversos materiais. Um exemplo dessas propriedades é a emissão de luz pelos fogos de artifício, fabricados geralmente com uma mistura de sais metálicos. No momento de sua queima rápida, os íons metálicos que compõem o material recebem energia na forma de calor, que provoca uma movimentação de elétrons entre as camadas da eletrosfera. Essa movimentação geralmente provoca a emissão de energia na forma de ondas eletromagnéticas, no caso a luz, com coloração característica dos elementos químicos presentes no material.

A partir do conhecimento de que a cor emitida após o aquecimento é característica de cada elemento químico, os cientistas alemães Robert Bunsen (1811-1899) e Gustav Kirchhoff (1824-1887) realizaram experimentos com o objetivo de desenvolver um método preciso de identificação das substâncias que apresentavam essa propriedade. Nesses experimentos, uma pequena amostra de substância simples purificada, formada por determinado elemento químico de interesse, era vaporizada na chama de um queimador desenvolvido por Bunsen (aparato conhecido hoje como bico de Bunsen), até que o vapor emitisse luz. A luz emitida pela amostra atravessa o colimador, dispositivo óptico que ajusta e alinha feixes de luz paralelos. O feixe passa através do prisma e é decomposto, podendo ser observado com o auxílio de uma luneta ou um filme fotográfico. O resultado é um **espectro de linhas** característico do elemento químico, como o mostrado a seguir para o elemento químico bário.

Espectro de linhas

PHIL DEGGINGER/ ALAMY/FOTOARENA



Fonte: elaborado com base em FILGUEIRAS, C. A. L. A espectroscopia e a Química: da descoberta de novos elementos ao limiar da teoria quântica. **Química Nova na Escola**, n. 3, 1996. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc03/historia.pdf. Acesso em: 30 abr. 2024.

Espectro de linhas correspondente à emissão do elemento químico bário.

Note, na representação anterior, que o espectro apresenta linhas de diversas cores, separadas por regiões escuras. Ele é diferente do espectro formado da luz solar, por exemplo, em que as cores decompostas aparecem de forma contínua.

Na época, os modelos atômicos até então propostos não eram capazes de explicar os espectros descontínuos observados para os elementos químicos. Nesse contexto, ao longo do tempo, outros modelos atômicos foram propostos e, mesmo apresentando determinadas limitações, inspiravam e serviam de referência para novos estudos sobre os espectros. Os trabalhos do físico japonês Hantaro Nagaoka (1865-1950) e do matemático inglês John William Nicholson (1881-1955), por exemplo, colaboraram para que Niels Bohr (1885-1962), físico dinamarquês, pudesse apresentar seu modelo atômico em 1913, o qual foi bem-sucedido e aceito na época.

Em 1915, o físico alemão Arnold Sommerfeld (1868-1951) e colaboradores apresentaram extensões ao modelo de Bohr a fim de corrigir certas limitações existentes. O modelo de Bohr-Sommerfeld apresentava as seguintes características:

- Um elétron se move em órbita circular estável em torno do núcleo de um átomo, que se encontra no estado de menor energia.
- A energia do elétron em determinada órbita é constante. Quanto mais distante do núcleo, maior sua energia.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

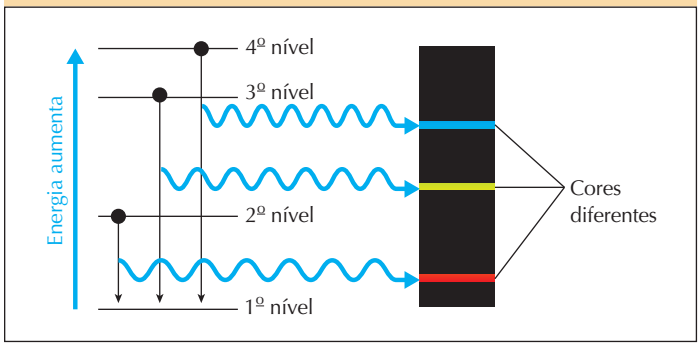
- Existe um número limitado de órbitas nas quais um elétron pode se situar. Elas são denominadas estados estacionários (mais conhecidos como **níveis de energia** ou **camadas eletrônicas**).
- Quando se transfere energia para um elétron (por exemplo, por meio de aquecimento ou corrente elétrica), ele salta para uma órbita mais distante do núcleo, de maior energia.
- Quando um elétron transfere a energia adquirida na forma de radiação eletromagnética ou calor, ele retorna a sua órbita original.
- Quando um ou mais elétrons saltam para órbitas de maior energia, dizemos que os elétrons (ou o átomo) estão no **estado excitado**. O estado de menor energia é chamado **estado fundamental**. O movimento dos elétrons de uma órbita para outra é chamado de **transição eletrônica**.

A energia absorvida ou liberada por um elétron ao mudar de órbita corresponde à diferença entre os níveis de energia dessas órbitas. Como existem apenas algumas órbitas, há somente alguns valores de energia definidos. Assim, diz-se que essa energia é **quantizada**. De acordo com o conceito de quantização, introduzido pelo físico alemão Max Planck (1858-1947), os elétrons absorvem e liberam energia em valores determinados denominados ***quanta***. Considerando que ocorre a atração eletrostática núcleo-elétron, o modelo de Bohr exigia um rompimento com a Física clássica, admitindo que o eletromagnetismo clássico não era válido na escala atômica. Ou seja, por esse modelo, o elétron não entraria em colapso com o núcleo, já que teria energia constante enquanto se desloca em sua órbita.

Alguns autores chamam essa transição eletrônica de "salto quântico". No entanto, optamos por não utilizar essa denominação neste material, pois essa analogia pode oferecer obstáculos de aprendizagem. Se achar pertinente, comente com os estudantes que eles podem vir a encontrar essa denominação em alguns materiais e vestibulares.

Esse modelo também explicou o comportamento de emissão de luz dos elementos químicos: o espectro de emissão de dado elemento químico é descontínuo, pois os elétrons liberam energia de forma quantizada. Podemos entender melhor a relação desse modelo atômico com os espectros de emissão se retomarmos o experimento de Bunsen e Kirchhoff. Nele, a energia, em forma de calor, fornecida pela chama é suficiente para que os elétrons passem a uma órbita de maior energia. Essa energia é liberada na forma de luz quando o elétron retorna ao estado fundamental. Quando a luz emitida pela amostra passa pelo colimador e atravessa o prisma, ela é decomposta em determinado número de linhas espectrais, em que cada linha representa a transição de órbita de um elétron, com energia definida, como representado a seguir.

Diagrama de níveis de energia e espectro de emissão



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: HALLIDAY, D. *et al.* **Fundamentals of Physics**. 10th ed. Hoboken: John Wiley, 2014.

Representação esquemática parcial de um diagrama de níveis de energia (à esquerda) e do espectro de emissão (à direita) proveniente das transições eletrônicas de um átomo. O primeiro nível (de menor energia) é o mais próximo do núcleo atômico. A linha vermelha corresponde, portanto, à luz emitida pelo elétron que retorna do segundo para o primeiro nível de energia. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Como cada elemento químico apresenta um espectro distinto, o método criado por Bunsen e Kirchhoff possibilitou diferenciá-los qualitativamente. Os conhecimentos relacionados à emissão de radiação eletromagnética característica dos diversos elementos químicos são ferramentas fundamentais para o entendimento da origem e da evolução do Universo, sobretudo para a determinação da composição química elementar dos mais diversos objetos astronômicos existentes no espaço. Os pesquisadores podem estudar, por exemplo, como os elementos químicos são formados no interior das estrelas e como eles se distribuem nas galáxias e permitem a formação de planetas e até da vida.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Enfatize, por meio do exemplo da tabela periódica de Mendeleev, as limitações inerentes às teorias e às leis científicas, o que leva outros cientistas a tentar aperfeiçoá-las ou mesmo substituí-las.

Tabela periódica e configuração eletrônica

Ao longo do século XIX, muitos pesquisadores buscaram formas de organizar, com base nas massas atômicas, os elementos químicos conhecidos na época. Por volta de 1870, o químico russo Dmitri I. Mendeleev (1834-1907) e o químico alemão J. Lothar Meyer (1830-1895) apresentaram, de modo independente, a classificação dos elementos químicos mais completa e bem-sucedida até então. Eles mostraram que, ao organizar os elementos químicos em ordem crescente de massa atômica, as propriedades variavam gradativamente ao longo dessa ordem e se observava a repetição regular e periódica das propriedades. Ambos fizeram tabelas com lacunas, sugerindo que havia elementos químicos ainda não conhecidos, mas os estudos de Mendeleev foram além dos de Meyer ao prever propriedades desses elementos químicos. Ele resumiu esses estudos em uma lei científica, que pode ser citada da seguinte forma: "As propriedades físicas e químicas dos elementos químicos variam periodicamente quando organizados em ordem crescente de suas massas atômicas".

Embora constituísse grande avanço em relação a outros sistemas de organização dos elementos químicos, a tabela periódica de Mendeleev apresentava algumas inconsistências, que ficavam evidentes à medida que novos elementos químicos se tornavam conhecidos e a Química se desenvolvia. Por exemplo, a massa atômica do argônio (39,948 u) é maior que a do potássio (39,098 u). Com os elementos químicos organizados de acordo com o aumento das massas atômicas, o argônio – um gás presente na atmosfera da Terra – faria parte do grupo do lítio, do sódio e do rubídio – metais presentes em rochas e solo. Ou seja: elementos químicos que apresentam propriedades distintas e não poderiam ser ordenados segundo o critério proposto por Mendeleev e Mayer. Esse foi apenas um dos casos que mostraram a necessidade de se estabelecer um novo critério para organizar a tabela periódica.

Com os avanços nas teorias atômicas no início do século XX e a definição de elemento químico em função do número atômico, foi proposta uma nova organização dos elementos químicos na tabela periódica, em ordem crescente de número atômico, resolvendo parte das inconsistências observadas na tabela de Mendeleev.

A tabela periódica atual apresenta diversas informações, comumente explicitadas em uma legenda, muito embora a quantidade de informações e a posição delas possam variar de uma versão da tabela periódica para outra. Até o momento, a tabela periódica agrupa 118 elementos químicos, organizados como mostrado a seguir.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.
ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Tabela periódica

1																	18
1 H hidrogênio 1,008	2		Legenda: número atômico símbolo nome massa atômica										13	14	15	16	17	2 He hélio 4,003
3 Li lítio 6,941	4 Be berílio 9,012												5 B boro 10,81	6 C carbono 12,01	7 N nitrogênio 14,01	8 O oxigênio 16,00	9 F flúor 19,00	10 Ne neônio 20,18
11 Na sódio 22,99	12 Mg magnésio 24,31	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		13 Aℓ alumínio 26,98	14 Si silício 28,09	15 P fósforo 30,97	16 S enxofre 32,07	17 Cℓ cloro 35,45	18 Ar argônio 39,95
19 K potássio 39,10	20 Ca cálcio 40,08	21 Sc escândio 44,96	22 Ti titânio 47,87	23 V vanádio 50,94	24 Cr crômio 52,00	25 Mn manganês 54,94	26 Fe ferro 55,85	27 Co cobalto 58,93	28 Ni níquel 58,69	29 Cu cobre 63,55	30 Zn zinco 65,38(2)	31 Ga gálio 69,72	32 Ge germânio 72,63	33 As arsênio 74,92	34 Se selênio 78,97	35 Br bromo 79,90	36 Kr criptônio 83,80
37 Rb rubídio 85,47	38 Sr estrôncio 87,62	39 Y ítrio 88,91	40 Zr zircônio 91,22	41 Nb nióbio 92,91	42 Mo molibdênio 95,95	43 Tc tecnécio	44 Ru rutênio 101,1	45 Rh ródio 102,9	46 Pd paládio 106,4	47 Ag prata 107,9	48 Cd cádmio 112,4	49 In índio 114,8	50 Sn estanho 118,7	51 Sb antimônio 121,8	52 Te telúrio 127,6	53 I iodo 126,9	54 Xe xenônio 131,3
55 Cs césio 132,9	56 Ba bário 137,3	57–71 lantanídios	72 Hf háfnio 178,5	73 Ta tântalo 180,9	74 W tungstênio 183,8	75 Re rênio 186,2	76 Os ósmio 190,2	77 Ir irídio 192,2	78 Pt platina 195,1	79 Au ouro 197,0	80 Hg mercúrio 200,6	81 Tℓ tálio 204,4	82 Pb chumbo 207,2	83 Bi bismuto 209,0	84 Po polônio	85 At astato	86 Rn radônio
87 Fr frâncio	88 Ra rádio	89-103 actinídios	104 Rf rutherfórdio	105 Db dúbnio	106 Sg seabórgio	107 Bh bóhrio	108 Hs hássio	109 Mt meitnério	110 Ds darmstádtio	111 Rg roentgênio	112 Cn copernício	113 Nh nihônio	114 Fℓ fleróvio	115 Mc moscóvio	116 Lv livermório	117 Ts tennesso	118 Og oganessônio

57 La lantânio 138,9	58 Ce cério 140,1	59 Pr praseodímio 140,9	60 Nd neodímio 144,2	61 Pm promécio	62 Sm samário 150,4	63 Eu európio 152,0	64 Gd gadolínio 157,3	65 Tb térbio 158,9	66 Dy disprósio 162,5	67 Ho hólmio 164,9	68 Er érbio 167,3	69 Tm túlio 168,9	70 Yb itérbio 173,1	71 Lu lutécio 175,0
89 Ac actínio	90 Th tório 232,0	91 Pa protactínio 231,0	92 U urânio 238,0	93 Np netúnio	94 Pu plutônio	95 Am amerício	96 Cm cúrio	97 Bk berquélio	98 Cf califórnio	99 Es einstênio	100 Fm férmio	101 Md mendelévio	102 No nobélio	103 Lr laurêncio

Fonte: IUPAC. **Periodic table of the elements**. Disponível em: https://iupac.org/wp-content/uploads/2022/05/IUPAC_Periodic_Table_150-04May22.jpg. Acesso em: 2 mar. 2024.

Tabela periódica dos elementos químicos. Nenhum valor de massa atômica é indicado para aqueles elementos químicos dos quais não se conhece a abundância isotópica característica em amostras naturais terrestres.

Grupos e períodos

Na tabela periódica atual, as linhas verticais são chamadas **grupos**, e as linhas horizontais são chamadas **períodos**. Elementos químicos do mesmo grupo apresentam propriedades semelhantes, e elas variam de forma mais ou menos gradativa ao longo de cada período. Os grupos 1, 2 e 13 a 18 são chamados de **elementos químicos representativos**, e os grupos 3 a 12, de **elementos químicos de transição**. Apesar de o hidrogênio estar posicionado acima do grupo 1, ele não pertence a nenhum dos grupos, pois compartilha propriedades em comum com vários deles. Destacamos a seguir características de alguns desses grupos.

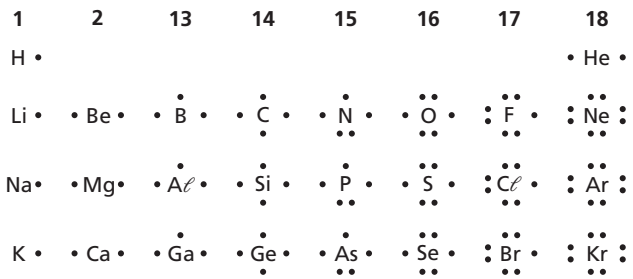
- **Grupo 1, metais alcalinos**: apresentam temperaturas de fusão e ebulição baixas em relação à maioria dos metais (entre cerca de 27 °C e 180 °C, a 1 atm). A denominação provém de *al kali*, nome árabe para uma planta de cujas cinzas se obtêm compostos de potássio e que era muito apreciada para a fabricação de sabão.
- **Grupo 17, halogênios**: o nome desse grupo significa "geradores de sal" e faz referência à abundância desses elementos químicos em sais marinhos.
- **Grupo 18, gases nobres**: elementos químicos desse grupo são muito pouco reativos e, por isso, são encontrados na natureza geralmente como átomos isolados. Somente na década de 1960 foi sintetizado o primeiro composto com um gás nobre na composição, o hexafluoroplatinato de xenônio ($XePtF_6$).

Distribuição eletrônica por níveis de energia

Desde que se descreveu o elétron como uma partícula subatômica, físicos e químicos buscaram compreender como os elétrons se distribuem na eletrosfera e como essa distribuição afeta as propriedades dos átomos.

Com base em trabalhos do químico alemão Richard Abegg (1869-1910) sobre a importância de um grupo de 8 elétrons na estrutura dos átomos, em 1916 o químico estadunidense Gilbert Lewis (1875-1946) propôs que a capacidade dos átomos de se ligar a outros formando compostos poderia ser explicada se os elétrons envolvidos nas ligações químicas se apresentassem em número par. Ele propôs então uma notação conhecida como **símbolos de Lewis**, que é utilizada até os dias atuais. Nessa notação, são escritos os símbolos dos elementos químicos e, ao redor deles, são representados os elétrons da camada mais externa do átomo, denominada **camada de valência**, por meio de pontos organizados aos pares.

Observe a seguir os símbolos de Lewis de alguns elementos químicos representativos à posição que ocupam na tabela periódica.



Auxilie os estudantes a perceber a relação entre a quantidade de elétrons da camada de valência desses elementos químicos e o grupo da tabela periódica ao qual pertencem.

O químico estadunidense Irving Langmuir (1881-1957) aprimorou o modelo de Lewis e calculou a quantidade máxima de elétrons em cada nível de energia, sendo as camadas mais internas (iniciando pelo nível 1, camada K) ocupadas antes dos níveis mais externos. Esses cálculos foram confirmados para os elementos químicos representativos, chegando aos valores indicados no quadro a seguir.

Distribuição dos elétrons nos níveis de energia

Nível	1	2	3	4	5	6	7
Camada	K	L	M	N	O	P	Q
Número máximo de elétrons	2	8	18	32	32	18	8

Fonte: elaborado com base em KRANE, K. S. **Modern Physics**. 4th ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2020.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Observe a seguir as configurações eletrônicas de alguns elementos químicos representativos da tabela periódica, do 2º ao 7º período.

Configuração eletrônica dos elementos químicos do grupo 1

Período	Elemento químico	Distribuição eletrônica por camadas						
		K	L	M	N	O	P	Q
2	Li	2	1					
3	Na	2	8	1				
4	K	2	8	8	1			
5	Rb	2	8	18	8	1		
6	Cs	2	8	18	18	8	1	
7	Fr	2	8	18	32	18	8	1

Fonte: elaborado com base em KRANE, K. S. **Modern Physics**. 4th ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2020.

O número de elétrons na camada de valência é o mesmo para todos os elementos químicos de um mesmo grupo. A investigação da configuração eletrônica de diferentes elementos químicos mostrou que o número de elétrons de valência estava relacionado às propriedades semelhantes apresentadas pelos elementos químicos de um mesmo grupo. A distribuição eletrônica também ajuda a compreender a formação dos períodos da tabela periódica: os átomos dos elementos químicos que fazem parte de um mesmo período apresentam o mesmo número de camadas eletrônicas ocupadas.

O conhecimento acerca dos modelos atômicos e da distribuição dos elétrons continuou em um processo de desenvolvimento e refinamento, levando à melhor compreensão das propriedades apresentadas pelos elementos químicos, sobretudo os de transição.

Distribuição eletrônica por subníveis de energia

Entre 1920 e 1930, os espectros atômicos estavam sendo estudados por diversos cientistas. Esses estudos revelaram que as linhas do espectro descontínuo eram formadas, na verdade, por conjuntos de linhas mais finas muito próximas umas das outras. Em 1926, com base no trabalho do físico francês Louis de Broglie (1879-1955) – que se valia das teorias dos físicos alemães Albert Einstein (1879-1955) e Max Planck para explicar o comportamento da matéria como partícula e como radiação, conhecido como **dualidade onda-partícula** –, o físico austríaco Erwin Schrödinger (1887-1961) propôs uma nova descrição matemática para o átomo de hidrogênio, utilizando a mecânica ondulatória para descrever o comportamento dos elétrons por meio de funções de onda (Ψ). Ao mesmo tempo que Schrödinger, outros físicos trabalharam na descrição do átomo quântico. Um deles foi o físico alemão Werner Heisenberg (1901-1976), que, em 1927, formulou o princípio da incerteza, segundo o qual não seria possível determinar com a mesma precisão simultaneamente a velocidade e a posição dos elétrons ao redor do núcleo. Na mesma época, o físico alemão Max Born (1882-1970) propôs que o quadrado da função de onda poderia ser associado à probabilidade de se encontrar o elétron em determinada região ao redor do núcleo (interpretação estatística da Mecânica Quântica). Assim, os elétrons não estariam distribuídos em órbitas fixas, mas em regiões ao redor do núcleo, denominadas **orbitais**, nas quais há maior probabilidade de eles estarem. Os orbitais eletrônicos podem ser considerados soluções matemáticas da equação descrita por Schrödinger.

Um conjunto de orbitais forma um **subnível** de energia ao qual pode ser associada uma das linhas mais finas observadas nos espectros atômicos. Cada um dos níveis de energia previstos no modelo de Bohr-Sommerfeld é subdividido em até quatro subníveis, representados pelas letras **s**, **p**, **d** e **f**, contendo, respectivamente, 1, 3, 5 e 7 orbitais; cada orbital comporta no máximo dois elétrons. Para determinar a

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

configuração eletrônica de um átomo no estado fundamental, sem precisar realizar cálculos matemáticos, pode-se utilizar o **diagrama das diagonais**, no qual a ordem de energia dos subníveis é indicada pelas setas.

Diagrama das diagonais

Níveis	Número máximo de elétrons	Subníveis s	p	d	f
		2	6	10	14
1 (K)	2	$1s^2$			
2 (L)	8	$2s^2$	$2p^6$		
3 (M)	18	$3s^2$	$3p^6$	$3d^{10}$	
4 (N)	32	$4s^2$	$4p^6$	$4d^{10}$	$4f^{14}$
5 (O)	32	$5s^2$	$5p^6$	$5d^{10}$	$5f^{14}$
6 (P)	18	$6s^2$	$6p^6$	$6d^{10}$	
7 (Q)	8	$7s^2$	$7p^6$		

NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: WHITTEN, K. W. *et al*. **Chemistry**. 10th ed. Belmont: CA Brooks/Cole, Cengage Learning, 2014.

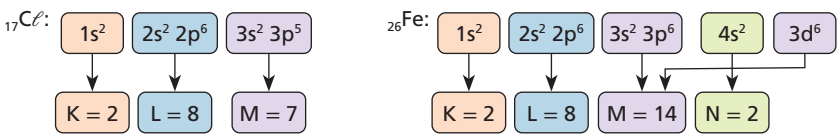
Distribuição eletrônica pelo diagrama das diagonais. A soma do número de elétrons dos subníveis (s, p, d, f) corresponde ao número máximo de elétrons nos respectivos níveis de energia (de K a Q). A distribuição dos elétrons segue o sentido definido pelas setas azuis na diagonal.

Esse diagrama também é conhecido como **diagrama de Pauling**, em referência ao químico estadunidense Linus Carl Pauling (1901-1994), um dos primeiros a aplicar à Química os conceitos da Mecânica Quântica.

A sequência apresentada a seguir corresponde à ordem crescente de energia dos orbitais, conforme descrita no diagrama das diagonais.

1s, 2s, 2p, 3s, 3p, 4s, 3d, 4p, 5s, 4d, 5p, 6s, 4f, 5d, 6p, 7s, 5f, 6d, 7p

Observa-se que o subnível 4s apresenta energia inferior à do subnível 3d. Assim, na distribuição eletrônica, o 4s é preenchido primeiro, embora corresponda a uma camada mais afastada do núcleo. Compare a distribuição eletrônica dos elementos químicos cloro e ferro, representadas a seguir.

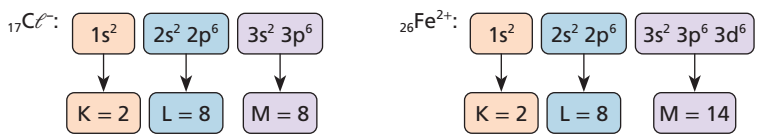


Distribuição eletrônica em subníveis e níveis de energia dos átomos dos elementos químicos cloro e ferro.

Auxilie os estudantes a perceber que, a partir da distribuição eletrônica por subníveis de energia, pode-se obter a distribuição por níveis somando o número de elétrons dos subníveis que formam cada nível.

O ferro é considerado um elemento químico de transição. Os elementos químicos de transição apresentam uma subcamada d ou f com os elétrons mais energéticos.

Também é possível determinar, por procedimento semelhante, a configuração eletrônica de íons. A transferência de elétrons dos átomos para a formação de íons envolve a **camada de valência**, ou seja, o nível mais afastado do núcleo. Compare as configurações eletrônicas do ânion cloreto ($_{17}C\ell^-$) e do cátion ferro(II) ($_{26}Fe^{2+}$), apresentadas anteriormente, com as mostradas a seguir.



Distribuição eletrônica em subníveis e níveis de energia dos íons cloreto e ferro(II).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Observa-se que, no ânion cloreto, o elétron recebido ocupa um subnível na camada de valência (camada M). No cátion ferro(II), os dois elétrons foram retirados da camada de valência (camada N), e não do subnível 3d. Com a formação do íon, o subnível 4s da camada de valência ficou vazio; por isso, ele não é representado na distribuição eletrônica.

Determinar a configuração eletrônica dos átomos auxilia na compreensão e na predição das ligações químicas que eles podem formar. Esse conhecimento é importante para estudar a composição das substâncias que constituem o planeta Terra e que deram origem aos primeiros organismos vivos, mas também tem aplicação direta na síntese de novos materiais, na produção e no armazenamento de energia, no desenvolvimento de fármacos, entre outras aplicações.

Aplique e registre Respostas e subsídios no Suplemento para o professor. Registre em seu caderno

3. Analise o quadro, que apresenta os dados obtidos em um teste de chama, e responda ao que se pede.

Substância	Cor da chama
HNO_3	Sem alteração
$LiNO_3$	Magenta
$NaNO_3$	Amarela
KNO_3	Violeta
$Sr(NO_3)_2$	Vermelha
$Cu(NO_3)_2$	Verde
$Ca(NO_3)_2$	Laranja

a. O que há em comum entre as substâncias testadas?

b. O que você esperaria obter como resultado desse experimento se no lugar do $NaNO_3$ fosse utilizado o NaCℓ?

4. Uma alimentação saudável envolve a ingestão de quantidades adequadas de macro e micronutrientes. Os micronutrientes incluem as vitaminas e os sais minerais. Pode-se citar como exemplos de constituintes dos sais minerais os íons dos elementos químicos cálcio, fósforo, magnésio, cloro, ferro, zinco, iodo, selênio e cobre. Quando se afirma que, na tabela periódica, o cloro e o fósforo pertencem ao mesmo período e que o cálcio e o magnésio pertencem ao mesmo grupo, isso quer dizer que 4. Alternativa **c**.

a. o cloro e o fósforo têm comportamentos químicos semelhantes.

b. os átomos do cálcio e do magnésio apresentam igual número de camadas eletrônicas.

c. os átomos de cloro e de fósforo apresentam igual número de camadas eletrônicas.

d. os átomos de cloro e de fósforo têm o mesmo número de elétrons na camada de valência.

e. os átomos de cálcio e de magnésio apresentam o mesmo número atômico e, portanto, o mesmo número de elétrons.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Propriedades periódicas

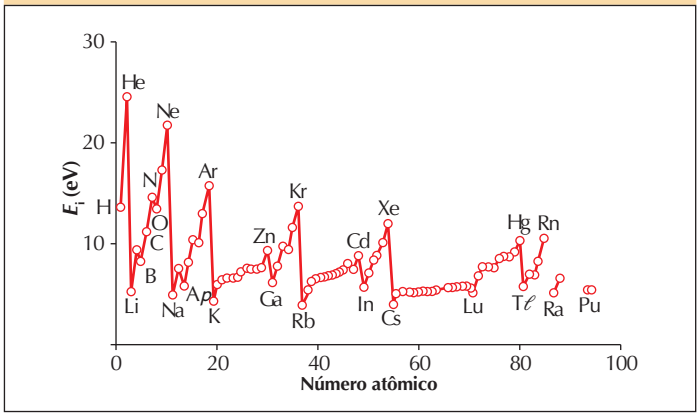
Átomos de elementos químicos com configurações eletrônicas similares – e, por consequência, propriedades semelhantes – estão representados no mesmo grupo da tabela periódica. Essas propriedades se repetem em intervalos regulares, após cada período da tabela, e são, por isso, denominadas **propriedades periódicas**. Elas se dividem em propriedades atômicas – as quais impactam nas propriedades das substâncias simples, formadas apenas por átomos de um mesmo elemento químico –, propriedades químicas e propriedades físicas. Estas últimas são as que variam de forma menos regular com o número atômico.

Energia de ionização

Quando se transfere energia a um átomo (por aquecimento, por exemplo), os elétrons podem absorvê-la, passando para níveis mais energéticos que os do seu estado fundamental, como prevê o modelo atômico de Bohr-Sommerfeld. Se a energia transferida for suficiente, é possível superar a força de atração entre um elétron de uma camada mais externa e o núcleo, removendo o elétron do átomo, transformando-o em um cátion. Essa energia é chamada **energia de ionização** (E_i).

O valor da energia de ionização – medida em elétron-volt (eV) – depende de quão afastado o elétron está do núcleo e, consequentemente, da força de atração entre eles. A energia de ionização é determinada experimentalmente com o átomo no estado gasoso e no estado fundamental. O estado gasoso é considerado como referência porque nele os átomos ficam isolados, com o mínimo possível de interferências mútuas. Assim, a energia necessária para retirar o elétron é igual à energia com a qual o elétron é atraído pelo núcleo.

Primeira energia de ionização *versus* número atômico



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: ATKINS, P.; DE PAULA, J.; KELLER, J. **Atkins' Physical Chemistry**. 11th. ed. Oxford: Oxford University Press, 2018.

Representação gráfica das primeiras energias de ionização em função do número atômico.

Peça aos estudantes que localizem na tabela periódica os elementos químicos mostrados no gráfico e, com base nessa informação, deduzam como varia essa propriedade periódica.

Chame a atenção dos estudantes no gráfico para os elementos de transição, os quais não seguem com a mesma previsibilidade a periodicidade dos elementos representativos.

Na tabela periódica, em determinado período, a energia de ionização tende a aumentar à medida que cresce o número atômico. Em um mesmo grupo, a energia de ionização tende a diminuir com o aumento do número atômico. Isso acontece por causa da **carga nuclear efetiva**, que corresponde à força resultante de interação elétrons-núcleo, que considera a força de atração do núcleo e a repulsão dos elétrons das camadas mais internas. Quanto maior a carga nuclear efetiva, maior a energia necessária para vencer a força de atração entre elétron e núcleo e ionizar o átomo. A remoção de um ou mais elétrons, por aumentar a carga nuclear efetiva, faz com que o **raio do cátion** seja menor que o raio do átomo correspondente.

Na tabela a seguir, são apresentados os valores aproximados para as três primeiras energias de ionização dos elementos químicos do primeiro e do segundo períodos da tabela periódica. Note pelos valores da tabela que a segunda energia de ionização de um átomo é sempre maior que a primeira: ou seja, mais energia é necessária para remover um elétron de um íon com carga positiva que de um átomo. Além disso, a remoção de elétrons de camadas mais próximas ao núcleo do átomo demanda mais energia que remover elétrons da camada de valência.

Energias de ionização de alguns elementos químicos

Z	Elemento químico	1ª energia de ionização (eV)	2ª energia de ionização (eV)	3ª energia de ionização (eV)
1	H	13,6	—	—
2	He	24,6	54,4	—
3	Li	5,4	75,6	122,4
4	Be	9,3	18,2	153,9
5	B	8,3	25,2	37,9

Fonte: HAYNES, W. M. (ed.). **CRC Handbook of Chemistry and Physics**. 97th ed. Boca Raton, FL: CRC Press/Taylor and Francis, 2017.

Valores de energia de ionização dos cinco primeiros elementos químicos da tabela periódica.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Afinidade eletrônica

Os átomos também podem receber elétrons, tornando-se íons negativos (ânions). Nesse caso, energia é liberada pelo átomo e pode ser medida. Essa energia é chamada **afinidade eletrônica** (E_{ae}). Assim como a energia de ionização, essa propriedade é determinada em átomos no estado gasoso e é geralmente medida em elétrons-volt, como no exemplo a seguir.

$$C\ell(g) + 1\ e^- \rightarrow C\ell^-(g) \qquad E_{ae} = 3{,}61\ eV$$

Essa representação indica que um átomo de cloro libera 3,61 eV ao receber um elétron, transformando-se no ânion cloreto, uma nova espécie química.

Quanto maior a afinidade eletrônica, maior a tendência de um átomo a receber elétrons. O ganho de elétrons aumenta as repulsões elétron-elétron; consequentemente, o **raio do ânion** é maior que o raio do átomo correspondente. Na tabela periódica, a afinidade eletrônica varia praticamente da mesma forma que a energia de ionização, exceto para os elementos do grupo dos gases nobres.

Existem outras propriedades que seguem o padrão de organização dos elementos da tabela periódica, como raio atômico e temperaturas de fusão e de ebulição. Saber acessar as informações contidas na tabela periódica contribui para a compreensão dos mais variados processos do ponto de vista da composição da matéria.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor. Registre em seu caderno

5. Lothar Meyer observou a periodicidade nas propriedades físicas dos elementos químicos aproximadamente na mesma época que Mendeleev observou a periodicidade nas propriedades químicas. Umas das propriedades físicas em que a periodicidade pode ser observada é a temperatura de fusão.

a. Com base nos dados de temperaturas de fusão (TF) dos elementos químicos hélio (He), carbono (C), neônio (Ne), silício (Si), argônio (Ar), germânio (Ge) e criptônio (Kr), medidas a pressão ambiente, indicados na tabela, esboce um gráfico de temperatura de fusão em função do número atômico desses elementos.

b. Qual característica do gráfico permite afirmar que essa propriedade é periódica?

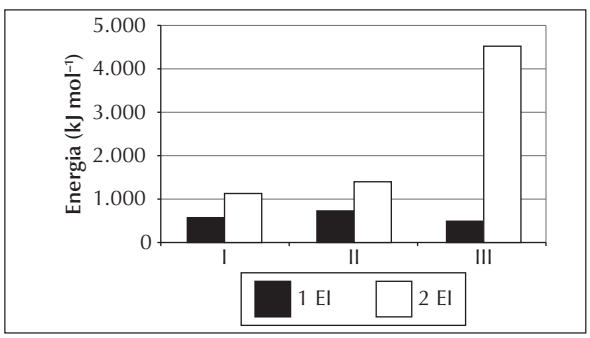
Temperatura de fusão de alguns elementos químicos

Elemento químico		TF (°C)
Grupo 14	C	3.550
	Si	1.410
	Ge	937,4
Grupo 18	He	−272,2
	Ne	−248,7
	Ar	−189,2
	Kr	−156,6

Fonte: HAYNES, W. M. (ed.). **CRC Handbook of Chemistry and Physics**. 97th ed. Boca Raton, FL: CRC Press/Taylor and Francis, 2017.

Comparação dos valores de temperatura de fusão de alguns elementos químicos dos grupos 14 e 18 da tabela periódica.

6. (Unifesp) O gráfico apresenta as primeiras e segundas energias de ionização (1 EI e 2 EI) para os elementos sódio, magnésio e cálcio, indicados como I, II e III, não necessariamente nessa ordem. 6. Alternativa **d**.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Dentre esses elementos, aqueles que apresentam os maiores valores para a primeira e para a segunda energia de ionização são, respectivamente,

a. cálcio e magnésio.

b. cálcio e sódio.

c. magnésio e cálcio.

d. magnésio e sódio.

e. sódio e magnésio.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

EM FOCO Minérios que emitem luz

[...] Pesquisas com terras raras mostram caminho para criar cadeia produtiva no Brasil

Estudos incluem catalisadores, células solares, ímãs e *lasers*; terras raras são abundantes no País, mas custo tecnológico da separação de minérios é obstáculo para produção nacional

[...] Atualmente, o Brasil tem a segunda maior reserva mundial conhecida de **terras raras**, porém essa riqueza não é explorada, devido ao custo da tecnologia de extração e separação, o que obriga o País a importar esses elementos para usar como matéria-prima nas indústrias, principalmente da China, maior produtor do mundo.

Terras raras: Plural de *terra rara*. Conjunto de elementos químicos que tem características de grande interesse econômico, como magnetismo intenso e absorção e emissão de luz.

[...]

"No Brasil, as terras raras são encontradas nas areias monazíticas do litoral e principalmente em jazidas próximas a vulcões extintos, como nas cidades de Araxá e Poços de Caldas, em Minas Gerais, e Catalão, em Goiás, e também em Pitinga, no Amazonas. É provável que as reservas brasileiras sejam muito maiores do que está comprovado atualmente, em especial na Amazônia", relata ao **Jornal da USP** o professor Fernando Landgraf, da Escola Politécnica (Poli) da USP. "No entanto, na cadeia produtiva das terras raras, o Brasil tem o minério, tem o consumo final, pois importa superímãs para geradores eólicos e motores elétricos, mas não domina as etapas intermediárias do processo, ou seja, a separação dos elementos e a fabricação de superímãs."

O professor Henrique Elsi Toma, do Instituto de Química (IQ) da USP, relata que o Brasil chegou a ter protagonismo no campo, ao desenvolver a tecnologia de separação e purificação. "A primeira jazida foi descoberta em 1886, na praia de Cumuruxatiba, na Bahia, e em 1915 o Brasil era o maior fornecedor mundial de monazita, um mineral extraído da areia que contém terras raras, e na época era usado para produzir mantas incandescentes, que permitem aos lampiões de gás emitirem luz branca." [...]

Na década de 1950, o foco da exploração de monazita passou a ser a extração de tório e urânio, usados na produção de energia nuclear. "O Brasil dominava a tecnologia de extração de terras raras, mas elas tinham poucas aplicações tecnológicas significativas. A situação mudou com o surgimento da televisão em cores, no final dessa década, quando as telas passaram a ser pintadas com európio para produzir as imagens coloridas. Posteriormente, as principais aplicações das terras raras passaram a ser em ímãs de alta potência e em *lasers*, com uso do neodímio extraído da monazita, mas aí o Brasil já havia perdido espaço no mercado mundial", explica Toma. [...] "Embora o Brasil seja considerado um 'país mineral' pela abundância das jazidas, o foco é a exportação de minério bruto, especialmente de ferro, que não exige tecnologias sofisticadas ou muito custosas de extração."

De acordo com Fernando Landgraf, o mercado mundial de terras raras é relativamente pequeno em termos financeiros, movimentando cerca de 5 bilhões de dólares por ano, mas a sua importância estratégica é enorme. [...]

Fonte: BERNARDES, J. Valiosas e versáteis: pesquisas com terras raras mostram caminho para criar cadeia produtiva no Brasil. **Jornal da USP**, 19 nov. 2022. Disponível em: https://jornal.usp.br/ ciencias/valiosas-e-versateis-pesquisas-com-terras-raras-mostram-caminho-para-criar-cadeia-produtiva-no-brasil. Acesso em: 2 mar. 2024.

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

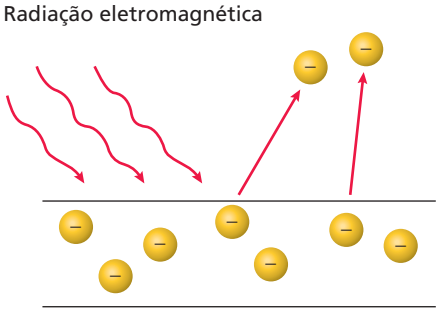
1. Explique por que o Brasil, apesar de ter a segunda maior reserva mundial de terras raras, não as explora economicamente. Debata com os colegas e proponha ao menos três soluções para reverter essa situação.
2. Em qual estado brasileiro especula-se haver mais reservas de terras raras ainda não descobertas? Reflita em grupo sobre os aspectos ambientais relacionados à exploração de terras raras nesse local, posicionando-se a favor ou contra a exploração desses recursos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADES DE FECHAMENTO

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. (Famerp-SP) As fotocélulas são dispositivos utilizados como substitutos de interruptores que acendem as lâmpadas de uma casa ou de postes na rua. Esses dispositivos baseiam seu funcionamento no efeito fotoelétrico, como ilustra a figura.



(Álvaro M. Barcelos. Propriedades Químicas. Adaptado.)

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

A equação química que representa o fenômeno ilustrado e a propriedade periódica relacionada a esse efeito são, respectivamente: 1. Alternativa **b**.

a. $X + e^- \rightarrow X^- +$ energia; potencial de ionização.
b. $X +$ energia $\rightarrow X^+ + e^-$; potencial de ionização.
c. $X + e^- \rightarrow X^- +$ energia; afinidade eletrônica.
d. $X +$ energia $\rightarrow X^+ + e^-$; afinidade eletrônica.
e. $X + e^- \rightarrow X^+ +$ energia; afinidade eletrônica.

2. Em algumas regiões do mundo ocorre um fenômeno natural chamado aurora polar.

Aurora polar. (Islândia, 2024).

PIOTR KRAJEWSKI/ISTOCK/GETTY IMAGES

Forme grupos com os colegas e pesquisem, em fontes confiáveis, em quais regiões esse fenômeno ocorre e como ele pode ser explicado de acordo com o modelo atômico proposto por Bohr.

3. Os metais têm diferentes aplicações industriais, como a fabricação de lâmpadas incandescentes e fluorescentes. Dependendo do tipo de lâmpada, porém, é utilizado um metal diferente. Nas lâmpadas incandescentes, um filamento metálico constituído por metros de metal enrolado é percorrido por uma corrente elétrica, o que causa seu aquecimento a temperaturas elevadas, fazendo com que passe a emitir luz. Para que a lâmpada tenha boa durabilidade, o metal utilizado deve permanecer sólido em temperaturas maiores que aquelas promovidas pela passagem da corrente elétrica. Já no interior dos tubos de vidro das lâmpadas fluorescentes, há uma quantidade significativa do vapor de um elemento químico metálico, cujos átomos colidem com elétrons quando se aplica uma corrente elétrica na lâmpada, e nesse processo há liberação de energia. Como grande parte dessa energia está situada na faixa do ultravioleta, que é invisível ao olho humano, as paredes de vidro da lâmpada

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

são recobertas com um material fluorescente capaz de absorver a luz ultravioleta e emitir luz visível. Nas lâmpadas fluorescentes, portanto, é utilizado um metal que é líquido em condições ambientes (25 °C e 1 atm), mas que também se vaporiza de forma apreciável.

Com base nas informações do texto e da tabela a seguir, indique no caderno a alternativa que apresenta os metais utilizados nas lâmpadas incandescentes e fluorescentes, respectivamente. 3. Alternativa **b**.

Massa atômica e temperaturas de fusão e ebulição de metais usados em lâmpadas

Nome do elemento	Massa atômica	Temperatura de fusão (°C) (a 1 atm)	Temperatura de ebulição (°C) (a 1 atm)
Ferro	56	1.538	2.861
Cobre	63,5	1.085	2.562
Gálio	70	30	2.204
Tungstênio	184	3.414	5.555
Mercúrio	200,6	239	357

Fonte: HAYNES, W. M. (ed.). **CRC Handbook of Chemistry and Physics**. 97th ed. Boca Raton, FL: CRC Press/Taylor and Francis, 2017.

Comparação de propriedades de alguns elementos químicos.

a. Cobre e ferro.
b. Tungstênio e mercúrio.
c. Tungstênio e gálio.
d. Cobre e mercúrio.
e. Cobre e gálio.

4. A caracterização da composição química de estrelas se baseia na observação de linhas espectrais obtidas por meio da observação espacial. O espectro atômico relacionado ao elemento químico hidrogênio apresenta quatro linhas. Sabendo que há apenas um elétron na eletrosfera do hidrogênio, como explicar, com base no modelo atômico de Bohr, as múltiplas linhas do espectro obtido?

PHIL DEGGINGER/ ALAMY/FOTOARENA

Espectro de emissão atômica do hidrogênio.

5. O modelo atômico passou por diversas alterações ao longo da história e até hoje é motivo de discussão. O que isso revela sobre a construção da Ciência e sua relação com a tecnologia e o momento histórico?

6. Leia o trecho de texto a seguir e faça o que se pede.

> A tabela periódica [ganhou] mais dois novos elementos. A IUPAC – [entidade com] autoridade mundial no reconhecimento e na nomenclatura química – oficializou [em 8 de junho de 2011] a adição dos elementos de número atômico 114 e 116. Embora tenham sido descobertos há mais de dez anos, eles só agora entraram na tabela devido aos rigorosos critérios para comprovação de sua existência. [...]

Fonte: MIRANDA, G. Tabela periódica ganha dois novos elementos químicos. **Folha de S.Paulo**, São Paulo, 9 jun. 2011. Disponível em: http://www1.folha.uol.com.br/fsp/ciencia/fe0906201102.htm. Acesso em: 2 maio 2024.

a. Quais são os nomes desses elementos químicos?
b. Em qual período da tabela periódica esses elementos foram adicionados?
c. Se um elemento químico de número atômico 119 tiver de ser adicionado à tabela periódica, qual será seu grupo? E seu período? Explique.

7. Leia o trecho a seguir e responda às questões.

> [...] A temperatura extrema na qual o núcleo da Terra se formou há mais de 4 bilhões de anos teria eliminado completamente qualquer metal precioso [como platina e ródio] da crosta rochosa e o depositado no núcleo [...].

Fonte: FAPESP. Metais extraterrestres. **Agência Fapesp**, 19 out. 2009. Disponível em: https://agencia.fapesp.br/metais-extraterrestres/11233. Acesso em: 2 maio 2024.

a. Que propriedade provavelmente está relacionada ao movimento dos referidos metais preciosos citados em direção ao núcleo terrestre? Explique.
b. Com base nas propriedades periódicas, elementos químicos de que grupo e período podem ser encontrados no núcleo da Terra?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Capítulo 2

As ligações covalentes e a química da vida

PAUL STAROSTA/STONE/GETTY IMAGES

Inseto da espécie *Culex pipiens*, de cerca de 5 mm de comprimento, pousado na superfície da água. Insetos como esse conseguem permanecer e andar sobre a superfície da água sem afundar por causa da tensão superficial, uma das propriedades dos líquidos relacionadas às interações entre as espécies químicas.

A maioria dos átomos de diferentes elementos químicos tende a formar ligações entre si, dando origem às diversas substâncias e materiais que existem. Atualmente, acredita-se que as primeiras moléculas de água tenham sido formadas no Universo há mais de 13 bilhões de anos, quando átomos de hidrogênio que haviam sido gerados após o *Big Bang* se ligaram a átomos de oxigênio gerados no colapso das primeiras estrelas. O entendimento de como os átomos estão ligados, bem como da ocorrência de interações entre as espécies químicas, ajuda a compreender as propriedades das substâncias, como a observada na imagem de abertura.

Formação de moléculas

Muitas substâncias apresentam estruturas chamadas **moléculas** e, por isso, são denominadas **substâncias moleculares**. Nas moléculas, existe ao menos uma **ligação química** entre dois átomos.

As teorias acerca das ligações químicas são limitadas pelo conhecimento que se tem da estrutura dos átomos. Apesar de uma descrição mais precisa da estrutura eletrônica dos átomos só ter sido possível em 1926, com a elaboração do modelo atômico quântico, a proposição de que os elétrons estariam envolvidos na formação das ligações químicas foi apresentada por Gilbert Lewis dez anos antes. Por esse motivo, essa concepção pode não corresponder exatamente aos conhecimentos contemporâneos, mas ainda hoje é usada como modelo para um primeiro entendimento das ligações químicas em moléculas.

Verifique os conhecimentos dos estudantes acerca da composição de moléculas simples, assunto abordado nos Anos Finais do Ensino Fundamental. Peça a eles que proponham, por exemplo, um modelo para a molécula de água com base nas informações disponíveis na introdução deste capítulo e em conhecimentos prévios. Você pode, ainda, propor a eles que observem o fenômeno mostrado na imagem que inicia este capítulo e reflitam a respeito de sua causa (em termos moleculares).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Modelo de ligação química de Lewis

Os trabalhos de Lewis, de Richard Abegg e de Irving Langmuir estão na base do que ficou conhecido como **regra do octeto**: dois átomos, ao se ligarem, passam a apresentar oito elétrons na camada de valência, adquirindo a configuração de um gás nobre no estado fundamental. Caso a camada de valência seja a camada K, como ocorre com os átomos do elemento hidrogênio, ela passará a apresentar dois elétrons nessa camada, adquirindo a configuração do gás nobre hélio no estado fundamental.

Em 1923, Lewis propôs, com base em observações experimentais, que a ligação química entre dois átomos fosse representada como um par de elétrons compartilhado. O modelo de emparelhamento eletrônico de Lewis explicava a valência dos átomos e as proporções com que se ligavam a outros átomos para formar moléculas e outros compostos. Observe os exemplos a seguir.

Representação de fluoreto de hidrogênio (HF) e sulfeto de hidrogênio (H_2S) com símbolos de Lewis.

Note que tanto o flúor quanto o enxofre terão sua camada de valência completada com oito elétrons ao se ligarem a átomos de hidrogênio, mas as proporções entre os átomos serão diferentes nas duas moléculas: no primeiro caso, há um átomo de hidrogênio para um átomo de flúor; no segundo, há dois átomos de hidrogênio para um átomo de enxofre. Isso ocorre devido às diferentes necessidades de cada elemento para chegar ao octeto.

O modelo de Lewis apresenta limitações ao não explicar por que são formados pares de elétrons. Além disso, o octeto da camada de valência também apresenta exceções: átomos muito grandes (a partir do 3º período da tabela periódica) podem acomodar mais de oito elétrons em sua camada de valência, enquanto alguns átomos menores (do 2º período) podem se tornar estáveis com menos de oito elétrons.

Avalie se os estudantes conseguem perceber que as proporções entre os átomos de diferentes elementos químicos nos compostos são determinadas por suas valências.

O conceito de energia potencial é tratado nos Anos Finais do Ensino Fundamental de maneira qualitativa. Trata-se de uma forma de energia que um objeto apresenta em razão de sua posição ou condição. A energia potencial está relacionada à capacidade que o objeto tem de realizar trabalho ou de se mover em resposta a forças externas.

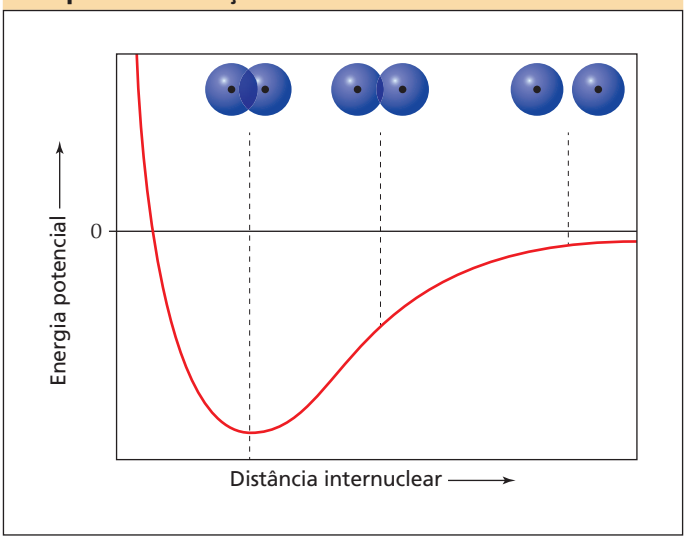
Teoria da ligação de valência

Atualmente, reconhecemos que adquirir a configuração eletrônica de um gás nobre no estado fundamental não é a razão do aumento de estabilidade dos átomos participantes de uma ligação química. Por exemplo, quando dois átomos isolados de hidrogênio se aproximam, o núcleo de cada um deles, além de atrair o elétron da própria eletrosfera, passa a atrair também o elétron do átomo vizinho. Entretanto, nesse processo, os dois núcleos também se aproximam, e, por apresentarem a mesma carga elétrica, passa a ocorrer repulsão eletrostática entre eles e entre os elétrons de cada átomo.

A aproximação entre os dois átomos é acompanhada de uma variação de energia potencial do sistema; essa energia é resultante da atração elétron-núcleo dos átomos. Observe, a seguir, a imagem que representa graficamente essa variação de energia quando se aproximam dois átomos do mesmo elemento químico, como ocorre no caso dos dois átomos de hidrogênio.

O gráfico demonstra que, em certo intervalo de distância internuclear, há uma superposição significativa dos orbitais dos átomos de hidrogênio, aumentando a probabilidade de os dois elétrons serem encontrados na região entre os dois núcleos. É importante destacar que essa probabilidade existe, mesmo que com valores próximos de zero, a qualquer distância internuclear. Dizemos que é nessa região de superposição dos orbitais atômicos que ocorre a formação da ligação química.

Perfil da variação de energia potencial para a formação de uma molécula diatômica



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: BROWN, T. L. *et al.* **Chemistry**: The Central Science. 14th ed. New York: Pearson, 2018.

A região azul representa a região de probabilidade de o elétron ser encontrado e o ponto preto central representa o núcleo atômico. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Note, ainda, que o gráfico demonstra que no intervalo de distância internuclear em que há superposição dos orbitais dos átomos a energia potencial do sistema é mínima: a essa distância, tanto as forças eletrostáticas atrativas quanto as repulsivas estão equilibradas, e a ligação química entre os átomos é estabelecida. Nesse momento, o sistema atinge a condição de menor energia.

A energia potencial mínima alcançada pelo sistema, que corresponde à quantidade de energia liberada quando a ligação química se forma, é denominada **energia de ligação**. Tanto essa energia quanto a distância internuclear, também chamada de **comprimento de ligação**, podem ser calculadas teoricamente e determinadas experimentalmente.

A ideia de que as ligações químicas são formadas pela superposição de orbitais atômicos é a base da **teoria da ligação de valência**, elaborada por Linus Pauling a partir de 1927, com base nos trabalhos de dois físico-químicos alemães, Walter Heitler (1904-1981) e Fritz Wolfgang London (1900-1954).

Ligação covalente

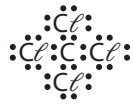
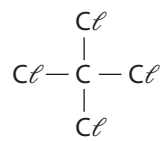
A atração elétron-núcleo e a superposição dos orbitais dos átomos que se aproximam levam ao deslocamento da **densidade eletrônica**, ou seja, ao aumento da probabilidade de se encontrar um elétron naquela região. Assim, a determinada distância, os núcleos de ambos os átomos atraem simultaneamente e com a mesma intensidade os dois elétrons de valência, resultando em um agrupamento de átomos formado pelo compartilhamento do par de elétrons, de acordo com o modelo proposto por Lewis. Para se referir a esse tipo de ligação, Langmuir utilizou o termo **covalência**; assim, ela é chamada **ligação covalente**. Os átomos que interagem para formar moléculas estão unidos por meio dessa ligação.

Fórmulas químicas e representação de moléculas

Conforme observamos nos tópicos anteriores, podemos representar as ligações covalentes por meio dos símbolos de Lewis, organizados de modo que indiquem o compartilhamento do par de elétrons. Essa representação é chamada **fórmula de Lewis**, ou **fórmula eletrônica**. Observe, no quadro a seguir, outras representações que podem ser usadas, como a **fórmula estrutural plana** e a **fórmula molecular**.

Representações de moléculas de diferentes substâncias

Enfatize que as fórmulas estruturais são representações gráficas, e não as estruturas reais das moléculas.

Nome da substância	Fórmula eletrônica	Fórmula estrutural plana	Fórmula molecular
Gás hidrogênio	H : H	H — H (um par de elétrons compartilhado: **ligação simples**)	H_2
Gás oxigênio		O = O (dois pares de elétrons compartilhados: **ligação dupla**)	O_2
Gás nitrogênio		N ≡ N (três pares de elétrons compartilhados: **ligação tripla**)	N_2
Tetraclorometano			$CC\ell_4$

Fonte: RUSSEL, J. B. **Química geral**. Tradução: Márcia Guekezian. 2. ed. São Paulo: Pearson Makron Books, 1994.

Note que na fórmula estrutural cada par de elétrons compartilhado na ligação é representado por um traço, disposto entre os símbolos dos elementos químicos. Para escrever a fórmula molecular, note que também se utiliza o símbolo dos elementos químicos que formam o composto, mas acompanhado de um **índice**. Nas fórmulas moleculares, os índices indicam a quantidade absoluta dos átomos em uma única molécula.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A fórmula molecular expressa o número de átomos de cada elemento químico constituinte da molécula de uma substância. Sabendo a proporção entre os átomos que formam uma molécula, podemos escrever sua **fórmula empírica**, ou **fórmula mínima**, indicando os menores números inteiros possíveis. Por exemplo, a fórmula molecular da glicose é $C_6H_{12}O_6$ e sua fórmula mínima (ou empírica) é CH_2O.

Existem diversos compostos que apresentam a mesma fórmula molecular, mas propriedades distintas. A identificação de qual ou quais compostos estão presentes em uma amostra, sobretudo quando eles apresentam a mesma fórmula molecular, é feita com o uso de técnicas e equipamentos analíticos.

Compostos orgânicos

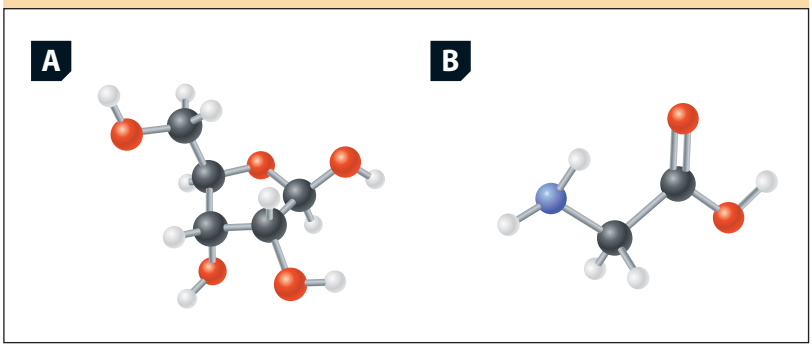
Por décadas, cientistas vêm estudando amostras de rochas de origem espacial, formadas há bilhões de anos, que caem na Terra regularmente, os **meteoritos**. Por exemplo, já nos anos 1980, mostrou-se que o meteorito de Murchison, encontrado na Austrália, estava repleto de moléculas complexas, capazes até mesmo de formar estruturas parecidas com protocélulas (estruturas predecessoras das células mais simples) quando colocadas em água.

Esses trabalhos vêm se desenvolvendo com o aprimoramento das técnicas de análise, permitindo a avaliação da diversidade química dessas rochas de uma forma sem precedentes. Em 2019, foram identificadas algumas das moléculas-base da vida, como a ribose, a arabinose e a xilose, as quais têm fórmula molecular $C_5H_{10}O_5$ (logo, fórmula mínima CH_2O). Os **aminoácidos**, moléculas fundamentais para a formação das proteínas que constituem os seres vivos, também já foram identificados em outros estudos e trazidos para a Terra. Estudos como esses, envolvendo a presença de aminoácidos em meteorito, vêm sendo desenvolvidos por vários pesquisadores, como é o caso da astrobióloga portuguesa Zita Martins (1979-). A maior parte das substâncias identificadas nessas pesquisas é classificada como **composto orgânico**.

ZITA MARTINS/ACERVO PESSOAL

A astrobióloga portuguesa Zita Martins com alguns fragmentos de meteoritos (Lisboa, 2017). Sua tese de Doutorado investigou moléculas orgânicas em certos tipos de meteorito.

Modelos moleculares de ribose e glicina



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

(A) Modelo da molécula de ribose. **(B)** Modelo da molécula de glicina, o mais simples dos aminoácidos. Nesse tipo de representação, comumente chamado de **modelo de esferas e bastões**, os átomos são representados por esferas, e as ligações covalentes, por bastões. Nas imagens, os átomos de carbono estão representados pelas esferas cinza-escuras; os de oxigênio, pelas vermelhas; o de nitrogênio, pela azul; os de hidrogênio, pelas brancas. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

A classificação dos compostos em orgânicos ou inorgânicos teve origem no fim do século XVIII e passou por modificações ao longo do tempo. Atualmente, os compostos orgânicos se referem a uma classe de substâncias cujas unidades estruturais (por exemplo, moléculas) apresentam átomos de carbono ligados entre si e/ou a átomos de outros elementos químicos, como hidrogênio, oxigênio, enxofre, cloro e nitrogênio.

Entretanto, apenas a presença de átomos de carbono não deve ser considerada suficiente para classificar um composto como orgânico. Existem compostos que são formados por carbono, mas apresentam propriedades físico-químicas semelhantes às de compostos inorgânicos e, por isso, enquadram-se melhor nessa classificação. Como exemplos desses casos, podem ser citados os gases dióxido de carbono (CO_2) e cianeto de hidrogênio (HCN). De forma geral, todos os compostos não classificados como orgânicos são classificados como compostos inorgânicos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Representação de cadeias carbônicas

Em 1858, o químico alemão Friedrich August Kekulé von Stradonitz (1829-1896) propôs que o carbono era **tetravalente**. Isso equivale a dizer, em termos atuais, que o átomo de carbono pode se ligar a outros átomos por meio de quatro ligações covalentes.

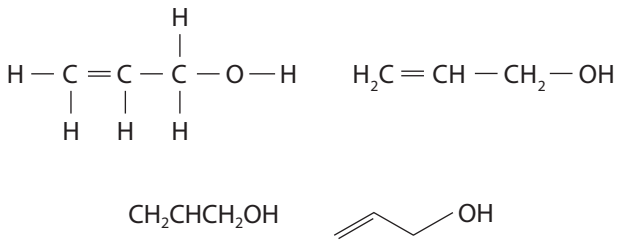
Revisite o quadro "Representações de moléculas de diferentes substâncias" e observe novamente o caso do tetraclorometano.

Kekulé foi um dos primeiros cientistas a criar representações gráficas de moléculas que constituem compostos orgânicos, enfatizando a capacidade dos átomos de carbono de se ligarem entre si, formando as chamadas **cadeias carbônicas**. Essas moléculas podem apresentar até milhares de átomos de carbono ligados sucessivamente, dando origem a grande variedade de compostos orgânicos.

O modo como as cadeias estão estruturadas pode explicar muitas propriedades dos compostos orgânicos; por isso, representá-las pode auxiliar na compreensão de tais propriedades. Nas fórmulas estruturais de cadeias carbônicas, é comum omitir os traços de ligações entre carbono e hidrogênio, e até mesmo todos os traços de ligação.

Como há a possibilidade de serem formadas longas cadeias carbônicas, a **fórmula estrutural plana simplificada** pode facilitar a representação dos compostos orgânicos. Nela são evidenciadas apenas as ligações existentes entre átomos de carbono por meio de traços (sem o símbolo do elemento químico) e a presença de átomos diferentes de carbono.

Observe a seguir como a molécula do composto prop-2-en-1-ol, também como álcool alílico, que pode ser representada por meio desses tipos de fórmulas estruturais.



Diferentes representações da molécula prop-2-en-1-ol, de fórmula molecular C_3H_6O.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

1. Das moléculas a seguir, apenas uma apresenta ligação dupla covalente: NH_3, CH_2O e $SC\ell_2$. Essa afirmação está correta? Justifique por meio da fórmula de Lewis ou da fórmula estrutural plana.

2. (Enem) Por terem camada de valência completa, alta energia de ionização e afinidade eletrônica praticamente nula, considerou-se por muito tempo que os gases nobres não formariam compostos químicos. Porém, em 1962, foi realizada com sucesso a reação entre o xenônio (camada de valência $5s^25p^6$) e o hexafluoreto de platina e, desde então, mais compostos novos de gases nobres vêm sendo sintetizados. Tais compostos demonstram que não se pode aceitar acriticamente a regra do octeto, na qual se considera que, numa ligação química, os átomos tendem a adquirir estabilidade assumindo a configuração eletrônica de gás nobre. Dentre os compostos conhecidos, um dos mais estáveis é o difluoreto de xenônio, no qual dois átomos do halogênio flúor (camada de valência $2s^22p^5$) se ligam covalentemente ao átomo de gás nobre para ficarem com oito elétrons de valência. Ao se escrever a fórmula de Lewis do composto de xenônio citado, quantos elétrons na camada de valência haverá no átomo do gás nobre?

2. Alternativa **c**.

a. 6
b. 8
c. 10
d. 12
e. 14

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Geometria molecular, polaridade das ligações e polaridade das moléculas

Assim como se debate se seria possível a vida tendo como base silício em vez de carbono, há discussões acerca da existência de outros solventes compatíveis com sistemas biológicos além da água (H_2O), sendo a amônia (NH_3) o solvente mais frequentemente citado.

Uma das características importantes que um solvente deve ter para ser considerado compatível com a vida é ser um líquido em uma faixa de temperatura ampla. Sob condição de 1 atm, a água se mantém no estado líquido 0 °C a 100 °C, enquanto a amônia se mantém no estado líquido apenas entre –78 °C e –33 °C. É com base na faixa de temperatura na qual a água pode ser encontrada no estado líquido na superfície de um corpo celeste que se define a zona habitável de um sistema planetário.

Outra característica importante de um solvente como a água é sua **polaridade**, ou seja, a **polaridade das moléculas** que compõem esse solvente. Essa propriedade influencia tanto as temperaturas de mudança de estado físico quanto as reações químicas que podem ocorrer com a substância. Além disso, também influencia na formação de determinados agregados moleculares que possibilitam o surgimento das células.

A polaridade das moléculas é uma propriedade que envolve muitos outros conceitos. Por esse motivo, para compreendê-la, é necessário estudar a **geometria molecular** e a **polaridade das ligações covalentes**.

Geometria molecular

A molécula de água tem ligações covalentes entre os dois átomos de hidrogênio e o átomo de oxigênio. Conhecer esses dados não nos permite determinar como esses átomos estão organizados no espaço nem como essas posições influenciam algumas propriedades da água. A fim de obter essas informações, é necessário estudar a **geometria molecular**.

Uma forma de prever a geometria das moléculas com três ou mais átomos é a **teoria da repulsão dos pares eletrônicos da camada de valência** (TRPECV), do químico britânico Ronald J. Gillespie (1924-2021). Essa teoria tem como base três suposições, destacadas a seguir.

- As regiões de alta densidade eletrônica ao redor do átomo central da molécula se repelem mutuamente e, para reduzir essa repulsão, tendem a se afastar o máximo possível, mantendo a distância do átomo central.
- São consideradas regiões de alta densidade eletrônica: ligação simples, ligação dupla, ligação tripla ou par de elétrons não ligantes (par de elétrons da camada de valência do átomo central que não participa de ligações).
- As localizações dos pares de elétrons da camada de valência definem os ângulos das ligações químicas.

Com base na fórmula geral $\mathbf{AX_nI_m}$, em que **A** é o átomo central da molécula, **X** representa os átomos ligados ao átomo central por pares de elétrons compartilhados (ligantes), **n** é o número de **X**, **I** representa os pares isolados de elétrons (não ligantes) e **m** é o número de **I**, é possível estimar a geometria da molécula.

O par de elétrons não ligante ocupa volume maior que o par de elétrons ligante. Isso faz com que ocorra uma pequena variação nos ângulos entre as ligações — note, na tabela da página seguinte, que o ângulo entre as ligações na geometria angular do tipo AX_2I é menor que os ângulos entre as ligações na geometria trigonal plana. A força relativa das repulsões pode ser assim descrita: par isolado + par isolado > par isolado + par ligante > par ligante + par ligante.

Geralmente os estudantes apresentam dificuldade para perceber essa tridimensionalidade das geometrias tetraédrica e piramidal. No Suplemento para o professor, há orientações de como trabalhar esse assunto com os estudantes utilizando simuladores digitais.

Fique por dentro

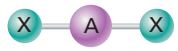
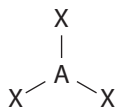
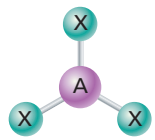
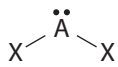
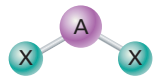
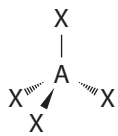
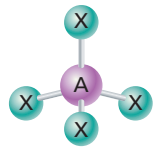
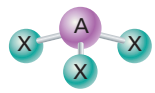
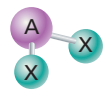
Geometria molecular

UNIVERSITY OF COLORADO BOULDER. **PhET Interactive Simulations**: Geometria Molecular. Versão 1.6.7. [Colorado]: University of Colorado Boulder, 2024. Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/molecule-shapes/latest/molecule-shapes_pt_BR.html. Acesso em: 5 fev. 2024.

O simulador permite construir modelos moleculares que podem ser rotacionados e obter informações como o ângulo entre as ligações e o nome da geometria.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Alguns tipos de geometria molecular

Fórmula geral	Representação da geometria pela fórmula estrutural	Representação da geometria pelo modelo esferas e bastões	Ângulo X – A – X	Geometria molecular	Exemplo
AX_2	X — A — X		180°	Linear	CO_2
AX_3			120°	Trigonal plana	BF_3
AX_2I			≃ 120°	Angular	SO_2
AX_4			109,5°	Tetraédrica	CH_4
AX_3I			≃ 107,5°	Piramidal	NH_3
AX_2I_2			≃ 105°	Angular	H_2O

Fonte: BROWN, T. L. *et al*. **Chemistry**: The Central Science. 14th ed. New York: Pearson, 2018.

Comparação da geometria molecular e do ângulo de ligação de alguns tipos de molécula. Optamos por tratar aqui de moléculas com até quatro pares eletrônicos, porém há outras geometrias associadas a moléculas com mais átomos.

No caso das geometrias tetraédrica e piramidal, em que os átomos não estão no mesmo plano, utilizam-se as seguintes notações para ligações químicas:

Símbolo	Significado
	Ligação paralela ao plano
	Ligação atrás do plano
	Ligação à frente do plano

Polaridade das ligações covalentes

A polaridade de uma ligação covalente está relacionada à tendência dos átomos em atrair para si os elétrons compartilhados nessa ligação. Essa capacidade chama-se **eletronegatividade**.

A primeira escala numérica de eletronegatividade, proposta em 1931 por Linus Pauling, é baseada na energia de ligação e tem como referência o átomo de hidrogênio. A eletronegatividade de um elemento químico só pode ser determinada em relação a outro elemento químico. Ou seja, a eletronegatividade é uma propriedade relativa e, dessa forma, o átomo mais eletronegativo em uma ligação pode ser o menos eletronegativo em outra. A eletronegatividade é uma propriedade periódica e, em geral, aumenta com o aumento do número atômico no período e diminui ao longo do grupo da tabela periódica.

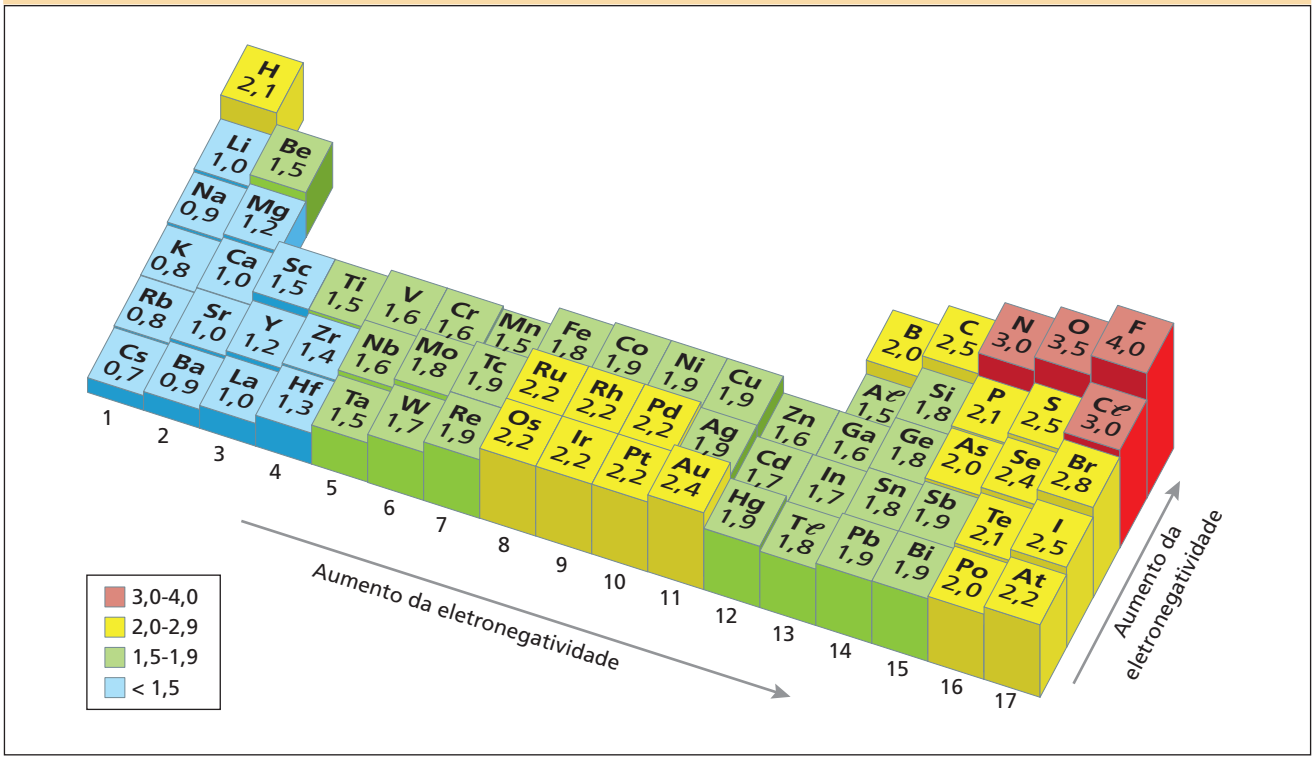
Quando há uma ligação covalente entre átomos do mesmo elemento químico, não há diferença de eletronegatividade, e os elétrons da ligação são atraídos com a mesma intensidade pelos dois átomos. Essa ligação é classificada como **apolar**.

ILUSTRAÇÕES: LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Contudo, se os átomos envolvidos na ligação forem de elementos químicos diferentes, aquele mais eletronegativo atrairá com maior intensidade o par de elétrons da ligação e se tornará o polo negativo da ligação, ao passo que o outro átomo será o polo positivo. Nesse caso, tem-se uma ligação **polar**.

Valores de eletronegatividade



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: BROWN, T. L. *et al.* **Chemistry**: The Central Science. 14th ed. New York: Pearson, 2018.

Representação esquemática da variação da eletronegatividade para alguns elementos químicos da tabela periódica.

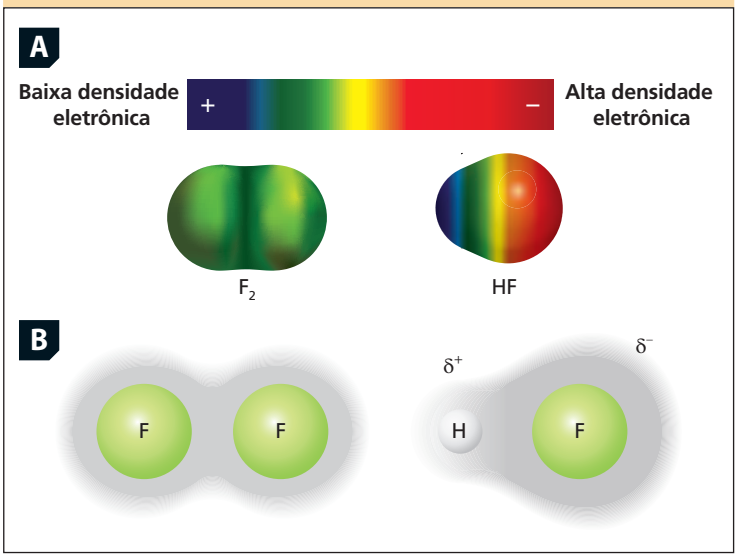
Observando a imagem anterior, é possível verificar que os átomos de hidrogênio e de flúor compartilham um par de elétrons, porém a eletronegatividade do flúor é maior que a do hidrogênio. Por essa razão, o par eletrônico da ligação tem maior probabilidade de ser encontrado próximo ao átomo de flúor. Como resultado, a região da molécula próxima ao átomo de flúor apresenta maior densidade de carga negativa, ficando com carga parcial negativa (δ^-), enquanto a região próxima ao átomo de hidrogênio fica com carga parcial positiva (δ^+).

Polaridade das moléculas

Como analisar a fórmula estrutural e decidir acerca da polaridade da molécula em questão? A **polaridade de uma molécula** depende da polaridade das ligações entre seus átomos e da sua geometria.

A polaridade de uma ligação pode ser representada por um vetor de polarização chamado **momento de dipolo ($\vec{\mu}$)**, que, por convenção, é desenhado em paralelo à ligação e com sentido ao átomo menos eletronegativo.

Densidade eletrônica em molécula apolar e polar



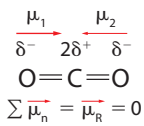
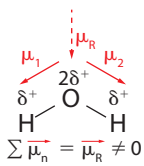
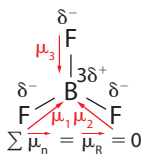
ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: BROWN, T. L. *et al.* **Chemistry**: The Central Science. 14th ed. New York: Pearson, 2018.

(A) Representação computacional da distribuição de densidade eletrônica calculada na superfície das moléculas de gás flúor (F_2) e de fluoreto de hidrogênio (HF). **(B)** Representação submicroscópica simplificada da distribuição de densidade eletrônica (contorno cinza) das mesmas moléculas. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Se uma molécula apresenta múltiplas ligações, sua polaridade será definida pelo somatório dos vetores momento de dipolo de todas as ligações $\left(\sum \vec{\mu}_n\right)$. Se o vetor resultante desse somatório $(\vec{\mu}_R)$ for igual a zero, a molécula será apolar; se ele for diferente de zero, será polar. No quadro a seguir, são mostrados alguns exemplos. Note que moléculas com ligações polares podem ser polares ou apolares, dependendo de sua geometria.

Fórmula molecular	Soma de vetores	Polaridade	Comentários
CO_2		Apolar	Apesar de as ligações serem polares, a molécula de CO_2 é apolar, pois os vetores momento de dipolo (as setas vermelhas) se anulam.
H_2O		Polar	Os dois vetores momento de dipolo da molécula de água, em virtude da geometria angular, não se anulam, e isso faz com que a molécula de água seja classificada como polar.
BF_3		Apolar	A molécula do BF_3 é apolar, já que a soma de dois dos vetores momento de dipolo gera um vetor idêntico ao terceiro vetor na mesma direção, mas em sentido oposto.

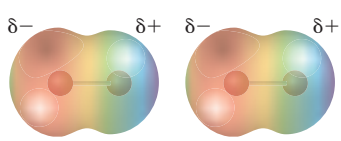
Interações intermoleculares

A polaridade das moléculas influencia as propriedades físico-químicas específicas das substâncias porque, entre outros fatores, está relacionada com os tipos de **interações intermoleculares**, ou **forças intermoleculares**, estabelecidas entre as moléculas. Descreveremos a seguir as interações que ocorrem em solventes puros, ou seja, sem misturas de substâncias. Além das interações intermoleculares, outros efeitos também são relevantes na formação de misturas.

Dipolo instantâneo-dipolo induzido ou forças dispersivas de London

Tanto nas moléculas apolares quanto nas polares, bem como nos átomos de gases nobres isolados, a movimentação dos elétrons pode gerar, em certo momento, aumento da densidade eletrônica em determinada região da espécie química. Assim, a distribuição de elétrons não é homogênea e forma-se um **dipolo elétrico instantâneo**. Esse dipolo induz a formação de novos dipolos elétricos nas espécies químicas que estão próximas. Os **dipolos induzidos** orientam-se no espaço e interagem, atraindo-se uns aos outros (imagem a seguir).

Distribuição de elétrons em moléculas diatômicas homonucleares



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: BROWN, T. L. *et al*. **Chemistry**: The Central Science. 14th ed. New York: Pearson, 2018.

Representação submicroscópica da distribuição de elétrons em moléculas diatômicas homonucleares, como o Br_2, interagindo. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Esse tipo de interação recebe o nome de interação **dipolo instantâneo-dipolo induzido**, ou **forças dispersivas de London**, em homenagem a Fritz London, que as estudou. Geralmente, a facilidade com a qual uma distribuição assimétrica de elétrons pode ocorrer está relacionada ao tamanho da molécula e à quantidade de elétrons. Quanto maior é a nuvem eletrônica da espécie química, mais fácil é a indução do dipolo.

Essas interações ocorrem entre todas as espécies químicas; entretanto, é o único tipo de interação que ocorre entre moléculas apolares e entre os átomos isolados de gases nobres. As forças dispersivas de London são relativamente fracas e aumentam de intensidade quando ocorre a aproximação entre os átomos ou as moléculas.

Dipolo permanente-dipolo permanente ou forças de Keesom

As moléculas polares também apresentam outro tipo de interação, as chamadas interações **dipolo permanente-dipolo permanente**, ou **forças de Keesom**, em homenagem ao físico holandês Willem Hendrik Keesom (1876-1956). Ele foi o primeiro cientista a descrever matematicamente essas interações, que podem também ser chamadas de **dipolo-dipolo**.

Nesse tipo de interação, a região com maior densidade de carga negativa (δ^-) de uma molécula atrai a região de menor densidade dessas cargas (δ^+) de outra molécula próxima, e vice-versa. Formam-se, então, interações entre dipolos que já existem na molécula.

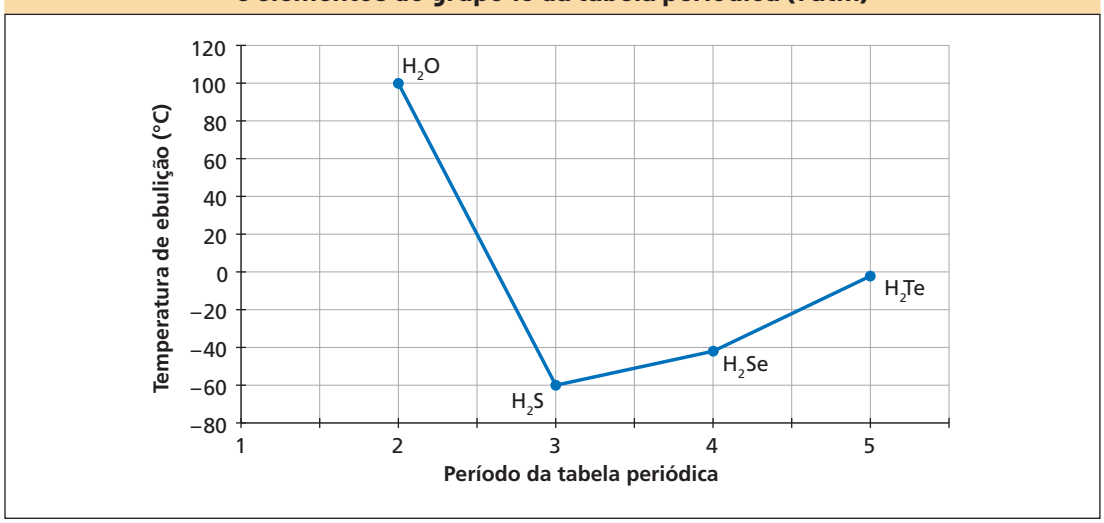
Esse tipo de interação é mais intenso que as forças dispersivas de London. É importante enfatizar, entretanto, que nas moléculas polares ocorrem os dois tipos de interação, mas as forças de Keesom predominam na maioria dos casos. As forças de London e de Keesom são, em conjunto, chamadas de **forças de van der Waals**, em homenagem ao físico holandês Johannes Diderik van der Waals (1837--1923), um dos primeiros cientistas a propor a existência das interações intermoleculares.

Ligações de hidrogênio

As **ligações de hidrogênio** também são interações do tipo dipolo-dipolo, porém mais intensas que as forças de Keesom. Elas são a interação entre o átomo de hidrogênio ligado covalentemente a um átomo bastante eletronegativo (F, O ou N) e o par eletrônico não ligante do átomo de flúor, oxigênio ou nitrogênio presente em outra molécula.

Podemos entender esse tipo de interação ao analisarmos, por exemplo, a temperatura de ebulição de algumas substâncias que contêm hidrogênio em sua composição. Observe o gráfico a seguir.

Temperaturas de ebulição dos compostos formados por hidrogênio e elementos do grupo 16 da tabela periódica (1 atm)



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

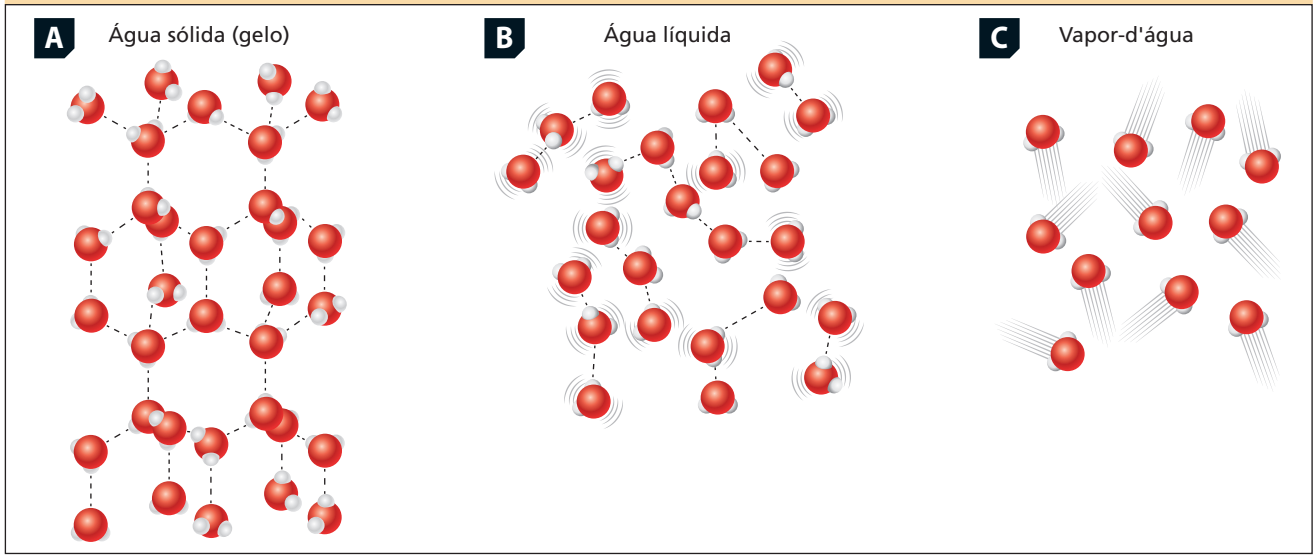
Fonte: LIDE, D. R. **CRC Handbook of Chemistry and Physics**. 90th ed. Boca Raton: CRC Press, 2010.

Comparação das temperaturas de ebulição dos compostos formados por átomos de hidrogênio e elementos químicos do grupo 16 da tabela periódica.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

As substâncias sulfeto de hidrogênio (H_2S), seleneto de hidrogênio (H_2Se) e telureto de hidrogênio (H_2Te) apresentam o comportamento típico de aumento da temperatura de ebulição com o aumento do período da tabela periódica em que estão os elementos químicos do grupo 16. Isso ocorre porque, além do aumento da massa atômica, quanto maior o átomo, maior sua densidade eletrônica e, consequentemente, mais intensas são as forças de Keesom entre as moléculas formadas por ele. No entanto, a água (H_2O) apresenta temperatura de ebulição muito maior que a esperada. Isso ocorre em razão de um tipo de interação existente entre as moléculas de H_2O, as ligações de hidrogênio. Observe a imagem a seguir.

Representação dos três estados físicos da água: sólido, líquido e vapor



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Modelo submicroscópico das moléculas de água nos estados físicos sólido, líquido e vapor. Note que, no estado sólido **(A)**, as ligações intermoleculares (linhas tracejadas) desempenham papel importante na definição da estrutura tridimensional de sólidos moleculares. As moléculas de água, por exemplo, organizam-se em hexágonos, formando os cristais de gelo. No estado líquido **(B)**, as moléculas assumem uma configuração aleatória e as ligações intermoleculares são estabelecidas e rompidas na mesma proporção. Por fim, no estado vapor **(C)**, não há ligações intermoleculares. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

As ligações de hidrogênio têm papel fundamental em diversos processos biológicos. Por exemplo, a dupla hélice do DNA se mantém unida em decorrência dessas interações, as quais, por serem intermoleculares, são cerca de dez vezes menos energéticas que as ligações covalentes e, assim, podem ser mais facilmente desfeitas nos processos de divisão celular.

Propriedades da água líquida

A água tem papel fundamental para a existência e a manutenção da vida. Dos três estados físicos mais comuns da água, o líquido é o mais importante, devido a sua capacidade de dissolução, entre outras propriedades importantes. Vamos explorar, a seguir, algumas propriedades desse estado da água.

Densidade

A maioria das substâncias apresenta maior aproximação de suas partículas no estado sólido e, consequentemente, apresenta também maior densidade. Porém, isso não ocorre com a água. Suas moléculas assumem um arranjo ordenado por causa das ligações de hidrogênio formadas. Em consequência, o gelo apresenta densidade menor do que a água líquida e flutua nela.

Retome com os estudantes a imagem de abertura do capítulo e peça-lhes que revejam as ideias levantadas na discussão inicial com base no conhecimento relativo às interações intermoleculares.

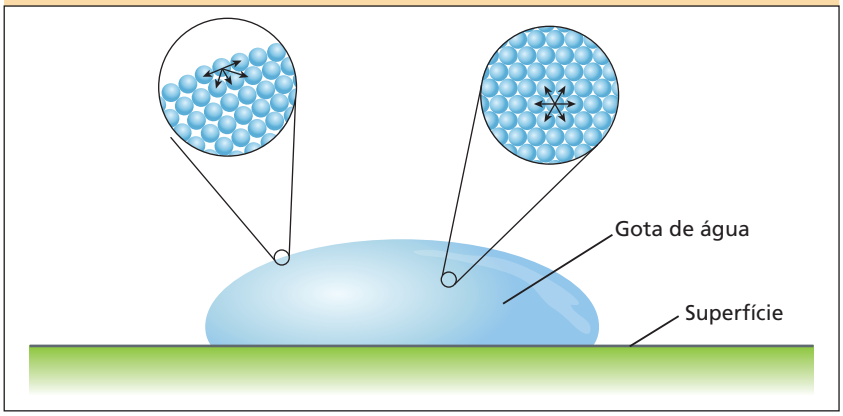
Tensão superficial

As moléculas de água no interior de um líquido são atraídas em todas as direções pelas forças intermoleculares que se estabelecem entre moléculas vizinhas. Contudo, as moléculas na superfície são mais atraídas pelas moléculas que estão ao lado e abaixo delas do que pelas moléculas presentes no ar da superfície. Essa configuração leva a uma força de atração resultante dirigida para dentro do líquido, fazendo com que a superfície se curve, o que pode ser facilmente observado em uma gota

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

de água. A energia necessária para romper a coesão da superfície do líquido ou para converter uma gota em um filme plano é chamada de **tensão superficial**. Esse fenômeno permite que insetos muito leves pousem sobre a água (representação a seguir).

Representação esquemática da tensão superficial da água



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: TRO, N. J. **Introductory Chemistry**. 7th ed. [*S. l.*]: Pearson, 2023.

As setas indicam a direção das forças atrativas entre as moléculas de água, que são representadas pelas esferas azuis. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Outro fenômeno que pode ser explicado pelas interações intermoleculares e pela tensão superficial da água é a **capilaridade**.

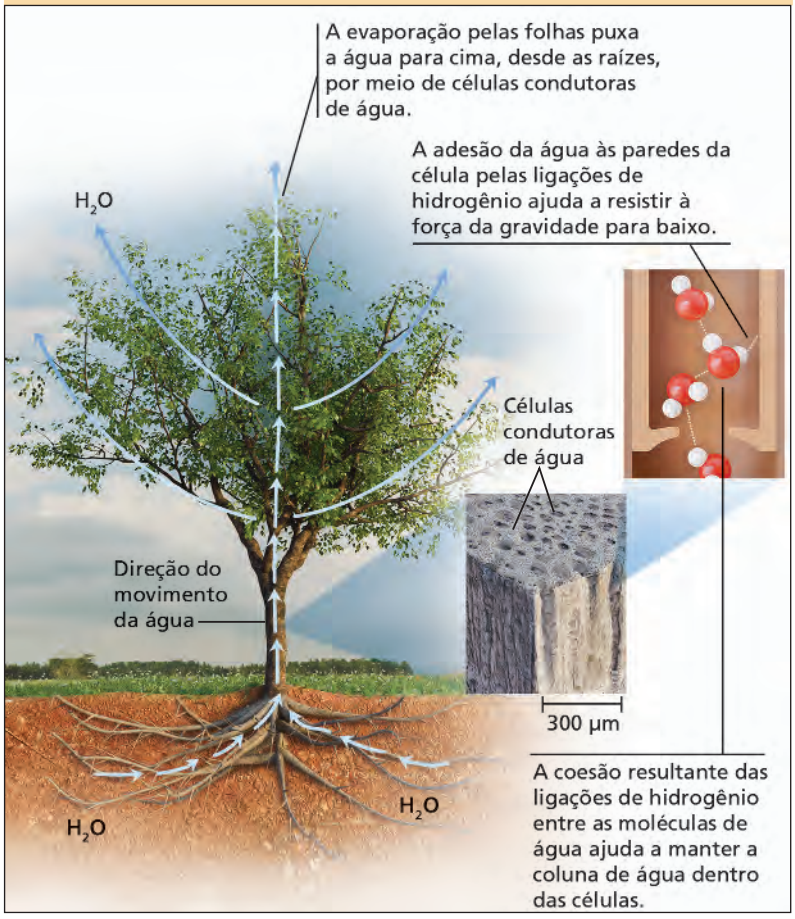
A tensão superficial da água permite que ela se movimente através dos pequenos vasos capilares nos tecidos vegetais, em direção contrária à força da gravidade. Esse fenômeno é crucial para o transporte de água e nutrientes das raízes até as partes superiores das plantas.

Solubilidade

Diversas substâncias podem ser dissolvidas na água; entretanto, algumas são mais solubilizadas que outras. Quando dissolvidas na água, as substâncias podem formar com ela um sistema homogêneo denominado **solução**, no qual a água é o **solvente** e a substância solubilizada é o **soluto**. Alguns compostos orgânicos, como o etanol, são solubilizados em água por meio de ligações de hidrogênio entre as moléculas do solvente e as do soluto.

Porém as substâncias cujas moléculas são de baixa polaridade ou apolares são muito pouco solúveis em água e, com ela, tendem a formar sistemas com mais de uma fase. A pequena **solubilidade** observada é resultado de interações intermoleculares do tipo dipolo permanente-dipolo induzido.

Movimento da água nas plantas



CRIS ALENCAR/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: URRY, L. A. *et al*. **Campbell Biology**. 12th ed. New York: Pearson, 2021.

A evaporação das folhas traciona a água para cima desde as raízes, por meio das células condutoras de água, fenômeno conhecido como capilaridade.

Solvatação

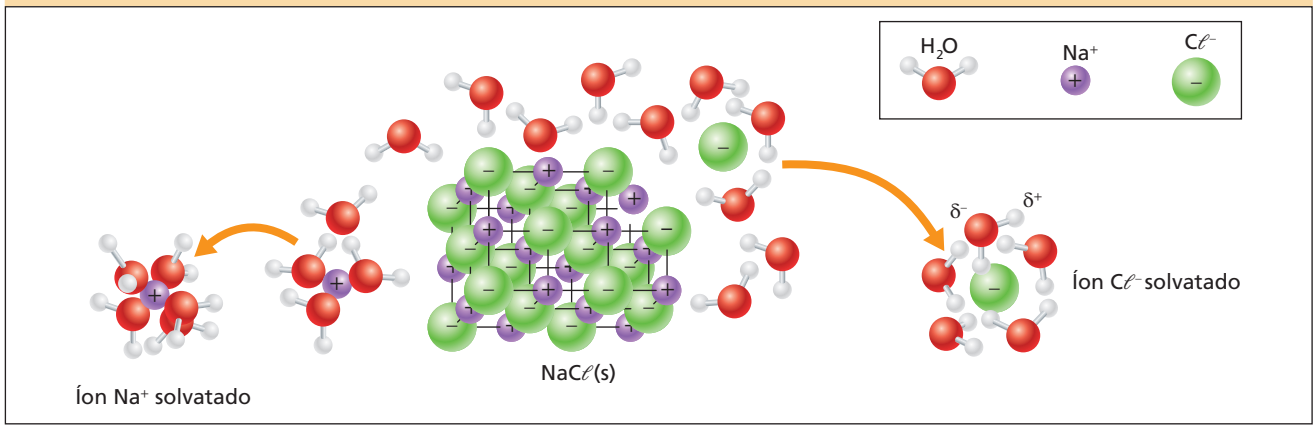
Além da participação de moléculas orgânicas em diversos processos relacionados à manutenção da vida na Terra, as substâncias iônicas (formadas por íons) têm grande relevância em processos biológicos, como os sais minerais transportados pelo xilema em plantas vasculares. Quando as moléculas de água se organizam em torno das partículas de soluto (sejam elas moléculas, sejam íons), ocorre o fenômeno conhecido como **solvatação**.

Retome conhecimentos do Ensino Fundamental relacionados à importância dos sais minerais na manutenção da vida, usando como exemplo o transporte da seiva bruta nas plantas. Procure retomar também o conhecimento dos estudantes acerca de soluções aquosas e da formação de íons.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A solvatação ocorre por causa do caráter polar da molécula de água: a carga parcial negativa do átomo de oxigênio é atraída pela carga do cátion do soluto, e a carga parcial positiva de cada átomo de hidrogênio é atraída pelo ânion do soluto, no caso das substâncias iônicas. Esse é um tipo de interação chamado **íon-dipolo**. Ela é menos intensa que a atração eletrostática entre cátions e ânions, porém é mais intensa que as interações intermoleculares apresentadas. Como consequência dessa interação, os íons do composto iônico se separam, ou seja, ocorre **dissociação** quando a substância se solubiliza. No entanto, nem todos os compostos iônicos são apreciavelmente solúveis em água em qualquer temperatura. Observe a representação a seguir.

Dissolução do cloreto de sódio em água



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: ROBINSON, J. K.; MCMURRY, J. E.; FAY, R. C. **Chemistry**. 8th ed. New Jersey: Pearson Education, 2020.

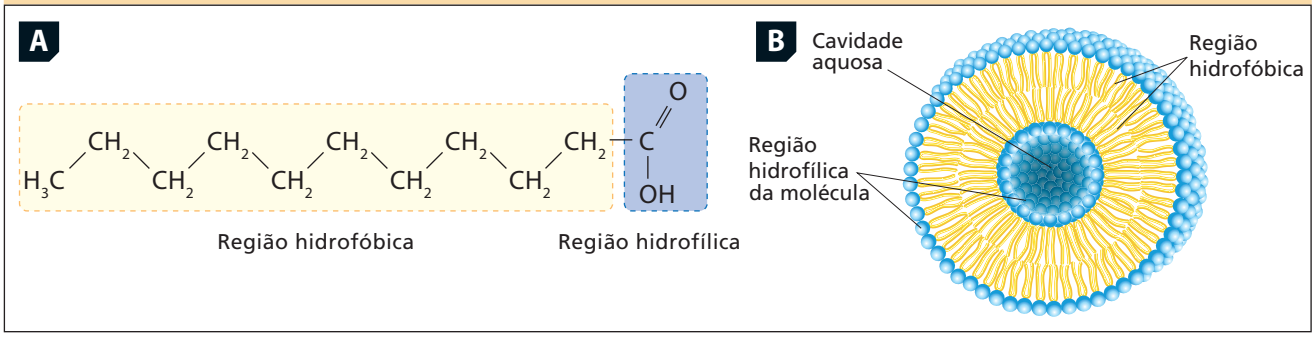
Modelo submicroscópico da solubilização do cloreto de sódio em água. O número de moléculas de água associadas aos íons não é necessariamente o representado e depende de diversos fatores, como o raio iônico. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Formação de bicamadas e micelas

Existem moléculas que apresentam em sua estrutura duas regiões com características de polaridade distintas: polar (que é **hidrofílica**, ou seja, tem afinidade com a água) e apolar (que é **hidrofóbica**, ou seja, não tem afinidade com a água). Moléculas com essa característica estrutural são denominadas **anfifílicas** ou **anfipáticas**.

Em ambiente aquoso, os compostos anfipáticos se auto-organizam de modo que o contato de suas regiões apolares com a água seja minimizado. A partir de certa concentração mínima e dependendo, por exemplo, da geometria molecular, os compostos anfifílicos se organizam em agregados e formam **bicamadas** ou, se for em camada única, **micelas**. Quando esses agregados se formam, partículas dissolvidas ou em suspensão na água podem ser confinadas em seu interior. A bicamada é um tipo de agregado que compõe a membrana que delimita as células, podendo ocorrer também na montagem de capsídeos virais.

Representação de um lipossomo



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de Bioquímica de Lehninger**. Tradução: Ana Beatriz G. da Veiga *et al.* 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2014.

(A) Fórmula estrutural do ácido undecanoico, um exemplo de molécula anfifílica, na qual se destacam, no lado direito, em azul, a região hidrofílica, e no lado esquerdo, em amarelo, a região hidrofóbica. **(B)** Modelo submicroscópico de um agregado do tipo bicamada conhecido como lipossomo. Essas estruturas são empregadas, por exemplo, na indústria farmacêutica para encapsular substâncias. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

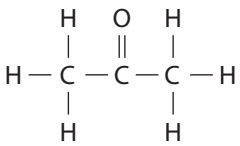
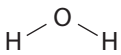
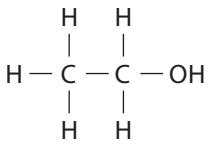
Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor. Registre em seu caderno

3. Por qual motivo a água (H_2O) é um líquido a 25 °C e 1 atm, enquanto o gás oxigênio (O_2), nessas mesmas condições, é um gás?

4. Algumas tarefas do cotidiano são bons exemplos de como as interações intermoleculares influenciam nas propriedades das substâncias. Na limpeza de móveis, por exemplo, o álcool evapora mais rapidamente que a água. Já quando se usa acetona para retirar o esmalte da unha, sabe-se que esse líquido "seca rapidamente", bastando esperar alguns minutos. A tabela a seguir apresenta as temperaturas de ebulição (TE) para os três líquidos mencionados, à pressão de 1 atm.

Temperatura de ebulição de algumas substâncias

Líquido	Fórmula estrutural	TE (˚C)
Acetona		56
Água		100
Etanol		78

Fonte: LIDE, D. R. **CRC Handbook of Chemistry and Physics**. 90th ed. Boca Raton: CRC Press, 2010.

Com relação aos dados apresentados na tabela, pode-se afirmar que: 4. Alternativa **e**.

a. as interações intermoleculares presentes na acetona são mais fortes que as interações presentes na água.

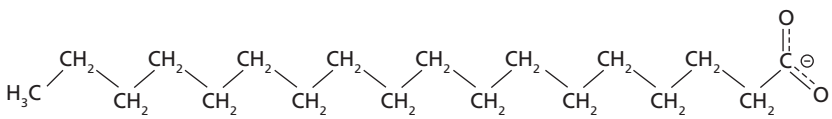
b. as interações intermoleculares presentes no etanol são mais fracas que as interações presentes na acetona.

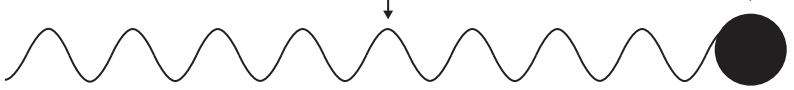
c. dos três líquidos, a acetona é a que apresenta ligações de hidrogênio mais fortes.

d. a magnitude das interações intermoleculares é a mesma para os três líquidos.

e. as interações intermoleculares presentes no etanol e na água são do tipo ligação de hidrogênio.

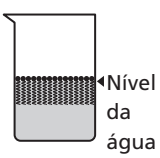
5. (Enem) Os tensoativos são compostos capazes de interagir com substâncias polares e apolares. A parte iônica dos tensoativos interage com substâncias polares, e a parte lipofílica interage com as apolares. A estrutura orgânica de um tensoativo pode ser representada por: 5. Alternativa **c**.

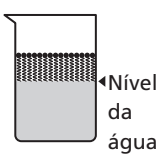


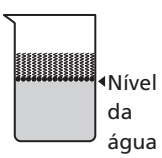


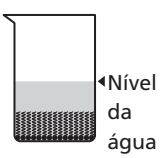
Ao adicionar um tensoativo sobre a água, suas moléculas formam um arranjo ordenado.

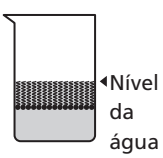
Esse arranjo é representado esquematicamente por:

a. 

b. 

c. 

d. 

e. 

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ILUSTRAÇÕES: LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

EM FOCO Combate aos mosquitos

ODS 3

OBJETO DIGITAL
Vídeo: Agenda 2030 e Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

Neste livro, você encontrará indicações dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) quando forem trabalhados temas relacionados a eles. Instrua os estudantes a consultarem as páginas sobre ODS no início do livro.

Os pesquisadores da Universidade Federal de Viçosa (UFV) descobriram um novo produto para eliminação do *Aedes aegypti*, transmissor de doenças como dengue, chikungunya, zika e febre amarela. Os cientistas provaram a eficácia de "alquilpoliglicosídeos" na eliminação do mosquito sem danos à saúde humana e o meio ambiente.

De acordo com o Ministério da Saúde, a dengue se tornou um problema de saúde pública no Brasil [no primeiro semestre de 2022]. De janeiro até a terceira semana de agosto, foram mais de 1,3 milhão de casos da doença, quase o triplo do mesmo período do ano passado. Casos de chikungunya e de zika também tiveram aumento acentuado.

A pesquisa trata do uso de **alquilpoliglicosídeos – surfactantes naturais obtidos de fontes renováveis –** para o controle de larvas de mosquitos. [...]

Segundo a divulgação da UFV, os surfactantes propostos são apresentados como uma nova forma de controle de larvas aquáticas, inclusive aquelas resistentes aos inseticidas convencionais, tendo em vista a diferente forma de ação do produto.

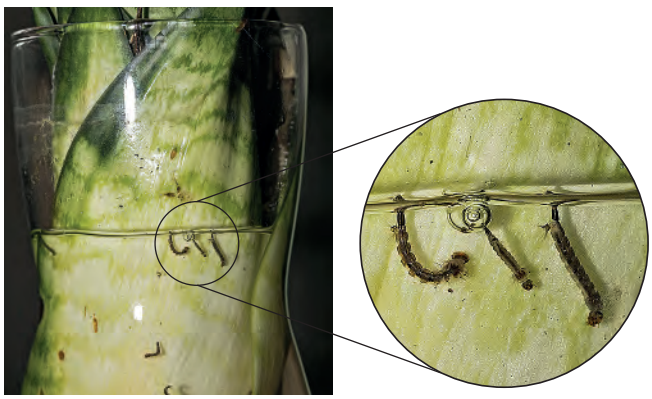
"Os alquilpoliglicosídeos interferem no ambiente em que as larvas vivem por meio de alterações na tensão superficial da água, o que dificulta o posicionamento correto das larvas para a realização de trocas gasosas com a atmosfera", explicou.

Ainda conforme a publicação sobre a pesquisa, pela ação ser direcionada ao meio e não no metabolismo, os alquilpoliglicosídeos têm menor probabilidade de selecionar populações resistentes, diferentemente do que ocorre com os inseticidas convencionais.

[...]

Fonte: ALBERTO, F. Pesquisadores em MG descobrem produto que elimina o mosquito da dengue sem danos à saúde humana e ao meio ambiente. **Portal G1**, 13 nov. 2022. Disponível em: https://g1.globo.com/mg/zona-da-mata/noticia/2022/11/13/pesquisadores-em-mg-descobrem-produto-que-elimina-o-mosquito-da-dengue-sem-danos-a-saude-humana-e-ao-meio-ambiente.ghtml. Acesso em: 19 mar. 2024.

GERSON GERLOFF/PULSAR IMAGENS

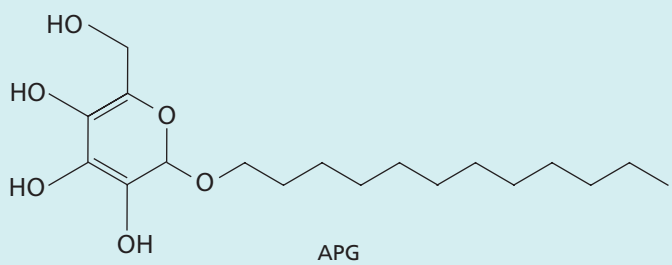


Vaso de plantas com água parada favorecendo a proliferação de insetos, como o mosquito *Aedes aegypti*. As larvas medem cerca de 1 mm de comprimento.

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. Quais são as vantagens dos alquilpoliglicosídeos (APG) em relação aos inseticidas tradicionais no combate ao *Aedes aegypti*?
2. O texto indica que o alquilpoliglicosídeo interfere no ambiente em que as larvas do *Aedes aegypti* vivem por meio de alterações da tensão superficial da água. Observe a fórmula estrutural de um APG.

   Explique por que o APG interfere na tensão superficial da água e possibilita o controle de larvas aquáticas dos mosquitos.



APG

3. O Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 3, da Agenda da ONU 2030, propõe "Assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todas e todos, em todas as idades". Formem grupos e discutam os pontos a seguir.
   - Quais ações podem ser realizadas pela população para a prevenção e o controle de doenças relacionadas ao *Aedes aegypti*?
   - Quais ações são necessárias para que o produto desenvolvido com o APG contribua para o cumprimento do ODS 3?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADES DE FECHAMENTO

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. Observe na tabela a seguir os momentos de dipolo elétrico de alguns compostos orgânicos.

Momento de dipolo de algumas substâncias

Substância	Momento de dipolo (D)
$CH_3C\ell$	1,87
CH_3OH	1,70
C_2H_6	0
C_6H_6	0

O momento de dipolo elétrico é medido em debye (D).

Fonte: MARTINS, C. R. *et al*. Solubilidade das substâncias orgânicas. **Química Nova**, São Paulo, v. 36, n. 8, 2013.

Explique por que alguns dos compostos orgânicos apresentados têm momento de dipolo igual a zero e os demais não.

2. (Enem)

Primeiro, em relação àquilo a que chamamos água, quando congela, parece-nos estar a olhar para algo que se tornou pedra ou terra, mas quando derrete e se dispersa, esta torna-se bafo e ar; o ar, quando é queimado, torna-se fogo; e, inversamente, o fogo, quando se contrai e se extingue, regressa à forma do ar; o ar, novamente concentrado e contraído, torna-se nuvem e nevoeiro, mas, a partir destes estados, se for ainda mais comprimido, torna-se água corrente, e de água torna-se novamente terra e pedras; e deste modo, como nos parece, dão geração uns aos outros de forma cíclica.

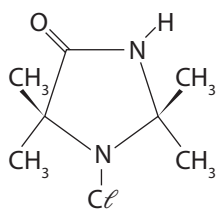
PLATÃO. **Timeu-Crítias**. Coimbra: CECH, 2011.

Do ponto de vista da Ciência moderna, os "quatro elementos" descritos por Platão correspondem, na verdade, às fases sólida, líquida, gasosa e plasma da matéria. As transições entre elas são hoje entendidas como consequências macroscópicas de transformações sofridas pela matéria em escala microscópica. Excetuando-se a fase de plasma, essas transformações sofridas pela matéria, em nível microscópico, estão associadas a uma 2. Alternativa **d**.

a. troca de átomos entre as diferentes moléculas do material.
b. transmutação nuclear dos elementos químicos do material.
c. redistribuição de prótons entre os diferentes átomos do material.
d. mudança na estrutura espacial formada pelos diferentes constituintes do material.
e. alteração nas proporções dos diferentes isótopos de cada elemento presente no material.

3. Os sabões, como o estearato de sódio ($C_{17}H_{35}COONa$), são substâncias anfipáticas e que, em ambiente aquoso, formam agregados esféricos conhecidos como micelas. Explique, com base nessas informações, no que foi estudado e em pesquisas em fontes confiáveis, como o sabão age no processo de limpeza de uma louça engordurada.

4. As *N*-haloaminas constituem um grupo de compostos orgânicos que apresentam pelo menos um átomo de nitrogênio ligado a um halogênio, geralmente o átomo de cloro. As *N*-haloaminas são compostos bastante estáveis em água e podem atuar como biocidas eficazes contra vários tipos de bactérias e fungos, por exemplo. Observe a fórmula estrutural de um tipo de *N*-haloamina.



Com base nessa fórmula estrutural, responda o que se pede.

a. Qual é a fórmula molecular do composto?
b. Ele é um composto polar ou apolar? Justifique.
c. Realize uma pesquisa e proponha uma hipótese para a ação biocida desse tipo de composto. Pesquise por desnaturação.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Continua

5. [...] Comparada com muitas outras substâncias, uma dada quantidade de água requer um grande ganho de calor para aumentar sua temperatura, e uma grande perda de calor para reduzi-la. Portanto, muito mais calor deve ser aplicado para elevar a temperatura da água que para elevar a temperatura de um líquido sem ligação de hidrogênio. O inverso é verdadeiro à medida que a água esfria. Consequentemente, a água mantém a temperatura constante com mais facilidade do que outros solventes e tende a proteger a célula de flutuações nas temperaturas ambientais. [...]

Fonte: TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. **Microbiologia**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2012.

Explique por que a existência de ligações de hidrogênio entre as moléculas de água faz com que essa substância atue como agente regulador da temperatura corporal.

6. As forças intermoleculares (van der Waals) obedecem razoavelmente aos seguintes critérios:

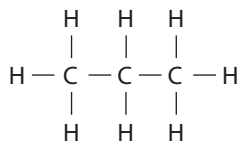
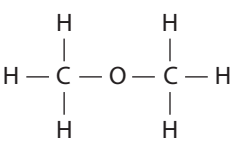
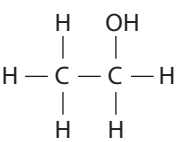
- para moléculas com números de elétrons iguais ou muito próximos, quanto maior a polaridade da molécula, maior a intensidade da interação intermolecular;
- para moléculas de polaridades próximas, quanto maior o número de elétrons na molécula, maior a intensidade da interação intermolecular.

Com essas informações, coloque cada par de compostos em ordem decrescente de temperatura de ebulição:

a. HBr e HI. **b.** CH_4 e CO_2. **c.** $HC\ell$ e H_2O. **d.** He e Ar.

7. Analise as informações da tabela a seguir.

Propriedades físico-químicas de alguns compostos orgânicos, a 1 atm

Nome	Propano	Metoximetano (éter dimetílico)	Etanol (álcool etílico)
Massa molecular (u)	44	46	46
Fórmula estrutural plana			
Temperatura de fusão (°C)	–187,6	–141,5	–114,1
Temperatura de ebulição (°C)	–42,1	–24,8	78,3

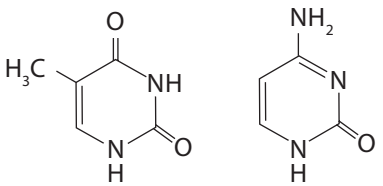
Fonte: LIDE, D. R. **CRC Handbook of Chemistry and Physics**. 90th ed. Boca Raton: CRC Press, 2010.

Utilizando os conceitos de polaridade das moléculas e os tipos de interação intermolecular, responda:

a. Em qual estado as substâncias apresentadas encontram-se a 25 °C e 1 atm? Justifique.

b. Por que as substâncias indicadas na tabela apresentam diferentes temperaturas de fusão e de ebulição?

8. As representações moleculares são muito úteis para relacionar as propriedades das substâncias à estrutura das moléculas, pois permitem identificar similaridades e diferenças. Por exemplo, a molécula de timina, uma das bases nitrogenadas que compõem a estrutura do DNA, apresenta semelhanças com a citosina. As fórmulas estruturais dessas moléculas estão representadas a seguir.



Timina Citosina

Apresente aos colegas uma proposta para representar essas fórmulas estruturais de forma que as semelhanças e as diferenças entre elas possam ser identificadas por pessoas com deficiência visual.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Capítulo 3

Metais e as ligações iônica e metálica

CLAUS MEYER/TYBA

Serra Pelada (PA), maior garimpo de ouro a céu aberto do mundo, década de 1980.

Poucos são os elementos químicos metálicos – como ouro, prata e cobre – que podem ser encontrados na natureza em sua forma nativa, ou seja, como metais puros. A grande maioria dos metais é extraída a partir de seus minérios, que são rochas contendo minerais com altas concentrações desses metais. Esse processo envolve a mineração, que é a remoção do minério do solo, seguida do beneficiamento, que consiste em várias etapas de processamento para extrair o metal desejado. Por exemplo, o ferro é obtido de minérios como hematita e magnetita, enquanto o alumínio é extraído da bauxita. Esse método de extração e beneficiamento é essencial para suprir a demanda por metais na indústria moderna, mas também apresenta desafios ambientais significativos, como a produção de rejeitos e a degradação de áreas naturais.

Serra Pelada, localizada no estado do Pará, Brasil, foi o maior garimpo de ouro a céu aberto do mundo. A corrida pelo ouro em Serra Pelada (PA) começou em 1980 e atraiu cerca de 100 mil garimpeiros no auge de sua atividade. Estima-se que, em uma década, tenham sido extraídas mais de 40 toneladas de ouro. No entanto, essa exploração descontrolada trouxe graves consequências ambientais. A remoção indiscriminada de terra e o uso de mercúrio para separação do ouro provocaram um severo impacto nos ecossistemas locais, contaminando cursos-d'água e destruindo a vegetação. A paisagem da região foi drasticamente alterada, transformando áreas de floresta em crateras gigantescas e áreas estéreis, evidenciando o alto custo ambiental desse tipo de exploração.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Fique por dentro

Os desafios da mineração

SÉRIE "Os Desafios da Mineração" [Minas Gerais: *s. n.*], 2019. 5 vídeos. Publicado pelo canal Balanço Geral MG. Disponível em: https://www.youtube.com/playlist?list=PL3cDo4RWdnAYqctvSoi8Qo8_9V5ZCnLbO. Acesso em: 10 set. 2024.

Documentário sobre a história do estado de Minas Gerais, sua relação com os primórdios da mineração no Brasil e os desafios atuais do setor.

Minerais e minérios

Os metais sempre tiveram grande importância no desenvolvimento das civilizações. Eles são **substâncias simples**, ou seja, formadas por átomos de apenas um elemento químico – nesse caso, elementos químicos metálicos. O ouro e a platina são exemplos de minérios que podem não ocorrer de forma combinada com outros elementos químicos. Entretanto, a maioria deles, como o ferro e o alumínio, não é encontrada isolada na natureza. Isso quer dizer que seus átomos ou íons estão ligados a átomos ou íons de outros elementos químicos, formando **substâncias compostas**.

Os metais podem ser obtidos de substâncias naturais que fazem parte da composição química dos **minerais**. Constituintes da crosta terrestre, os minerais, sólidos de estrutura cristalina formados por processos geológicos naturais, estão presentes em rochas, materiais que têm sua formação ao longo de milhares de anos e que, geralmente, apresentam a associação de dois ou mais tipos diferentes de mineral. Dependendo da composição química e da abundância do mineral na crosta terrestre, é possível extrair metais dele. Quando a extração dos metais de interesse é econômica e tecnologicamente viável, eles passam a ser denominados **minérios**.

A mineração é realizada de diferentes modos, dependendo do mineral a ser extraído e das características geográficas e geológicas da região de extração. No Brasil, além de a exportação de minérios ser uma das mais relevantes para a economia, grande parte da produção industrial está diretamente ligada aos recursos minerais provenientes da natureza. Observe no mapa a seguir onde algumas reservas minerais estão localizadas no Brasil.

Principais reservas minerais do Brasil (2021)

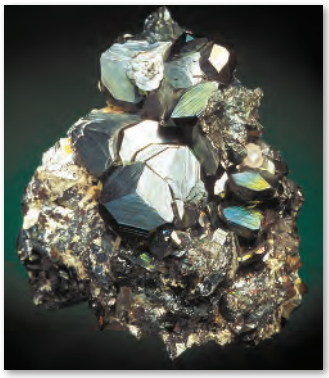
Fonte: elaborado com base em BRASIL. Agência Nacional de Mineração. **Anuário mineral brasileiro**: principais substâncias metálicas. Brasília, DF: ANM, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/economia-mineral/publicacoes/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro/PreviaAMB2022.pdf. Acesso em: 10 set. 2024.

Mapa do Brasil com a localização das principais reservas minerais. Além dessas, o território brasileiro também possui reservas de cromo, nióbio, níquel, ouro, vanádio e zinco.

Note a grande quantidade de reservas de minério de ferro no estado de Minas Gerais. Na região do mapa na qual essas reservas estão indicadas, localiza-se, entre outros, Brumadinho, município atingido por grave desastre ambiental em 2019.

FERNANDO JOSÉ FERREIRA/ARQUIVO DA EDITORA
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O principal minério de ferro explorado no Brasil é a hematita, mineral no qual o ferro – um elemento químico metálico – forma uma substância composta com o oxigênio – elemento químico não metálico.



MARVIN DEMBINSKY PHOTO ASSOCIATES/ALAMY/FOTOARENA

Fragmento de hematita com cerca de 4 cm × 4 cm × 3 cm. A hematita é um minério de brilho metálico a partir do qual, por meio de transformações químicas, pode-se obter o ferro metálico.

Os metais e a tabela periódica

Os elementos químicos da tabela periódica podem ser divididos em dois grandes grupos, de acordo com as propriedades das substâncias simples que os respectivos átomos formam: **metais** e **não metais**.

Tabela periódica simplificada

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

1												13	14	15	16	17	18
H	2																He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Aℓ	Si	P	S	Cℓ	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	Lantanídeos	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tℓ	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Actinídeos	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fℓ	Mc	Lv	Ts	Og
			La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
			Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

Metais
Não metais

Tabela periódica simplificada apresentando a classificação em metais e não metais dos elementos químicos de acordo com as propriedades das substâncias simples formadas pelos respectivos átomos.

Fontes: elaborada com base em IUPAC. **Periodic table of the elements**. Disponível em: https://iupac.org/wp-content/uploads/2022/07/IUPAC_Periodic_Table-04May22_CRA.pdf. Acesso em: 8 maio 2024; HAYNES, W. M. (ed.). **CRC Handbook of Chemistry and Physics**. 97th ed. Boca Raton, FL: CRC Press/Taylor and Francis, 2017.

Os metais formam substâncias simples que apresentam brilho característico, boa condutividade elétrica e térmica e são sólidos a 25 °C e 1 atm (com exceção do mercúrio, que é liquido nessas condições), podendo ser moldados e transformados em lâminas e fios, por serem maleáveis e dúcteis. Os elementos químicos não metálicos formam substâncias simples que, de maneira geral, não conduzem bem calor nem eletricidade.

Os elétrons de valência, aqueles localizados na camada mais externa ou no nível mais afastado, no caso dos átomos de elementos químicos metálicos, são pouco atraídos pelo núcleo, o que favorece sua retirada e a consequente formação de íons de carga positiva (cátions). Essas espécies químicas, dependendo de onde se encontram, podem trazer riscos ao ambiente e à saúde dos seres vivos em determinados níveis de exposição – a concentração máxima de certos cátions metálicos permitida na água para consumo humano, por exemplo, é determinada pela legislação (Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021, do Ministério da Saúde). O mercúrio está entre os metais que apresentam parâmetros mais restritos de aceitação na água para consumo humano, sendo considerado muito tóxico.

Alguns garimpeiros usam o mercúrio na extração do ouro a fim de separá-lo dos outros componentes do minério por meio de um processo chamado **amalgamação**, no qual o mercúrio forma uma mistura com o ouro. Posteriormente, essa mistura é aquecida para remover o mercúrio – o qual se transforma em vapor – e, dessa forma, é possível obter o ouro puro. No entanto, essa prática é potencialmente danosa ao ambiente e às populações que vivem próximas aos garimpos, pois o mercúrio é descartado de forma inadequada, contaminando o solo e a água. O mercúrio tem **efeito bioacumulativo**, ou seja, sua concentração e, consequentemente, seus efeitos tóxicos são aumentados ao longo da cadeia alimentar.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Lantanídeos e actinídeos

Observe na tabela periódica os grupos dos lantanídeos e dos actinídeos. Os lantanídeos são os elementos químicos com número atômico de 57 (lantânio, La) a 71 (lutécio, Lu). Eles apresentam propriedades similares e já estavam presentes nas tabelas periódicas da década de 1930. Já os actinídeos são em sua maioria elementos artificiais.

Terras-raras e tecnologia

OBJETO DIGITAL
Vídeo: Terras raras

As terras-raras englobam um grupo de dezessete elementos químicos metálicos: os quinze lantanídeos, o escândio (Sc) e o ítrio (Y). Essa denominação provém do modo como eles foram identificados no final do século XVIII: como terras (o que corresponde aproximadamente ao que entendemos hoje como óxidos minerais) e por se acreditar que eram raros na crosta terrestre e de difícil purificação. Atualmente, sabemos que eles não estão presentes na crosta terrestre em quantidades relativamente tão pequenas como a expressão sugere, mas são de difícil extração.

Esses metais são de extrema importância em diversos setores industriais, principalmente de alta tecnologia, como na produção de veículos elétricos e híbridos. O Brasil tem grande potencial para produzir terras-raras, pois há depósitos quantificados e dezenas de ocorrências ainda pouco estudadas. Porém, existem diversas restrições sociais, econômicas e tecnológicas para o beneficiamento dos minérios dos quais as terras-raras provêm. Uma delas é a discussão dos impactos sobre culturas tradicionais, já que muitos desses minérios ocorrem em terras indígenas. A participação dessas comunidades na tomada de decisão e nos eventuais lucros obtidos é uma garantia legal.

Leve os estudantes a perceber que a viabilidade de exploração das terras-raras no Brasil ainda requer muito estudo, devendo ser discutida em diversos setores da sociedade, como comunidades, meios científicos, empresas e instituições governamentais.

Registre em seu caderno

NA PRÁTICA Como testar a condutividade elétrica dos materiais?

Antes de iniciar a atividade, reúna-se em grupo e leia todo o procedimento.

OBJETIVO

Investigar a condutividade elétrica de diferentes materiais.

MATERIAL

- 1 bateria de 9 V nova
- 2 pedaços (com cerca de 20 cm cada um) de fio elétrico de cobre encapados
- 1 fita adesiva ou fita-crepe
- Cola quente
- 1 estilete
- 1 lâmpada nova
- 1 soquete para lâmpada
- 1 tábua ou suporte de madeira
- 3 béqueres de 200 mL cada um ou copos de vidro do mesmo volume
- 2 palitos de madeira
- 1 rolo de papel-toalha ou guardanapos de papel

Amostras a serem testadas:

- 300 mL de água de torneira
- 100 g de bicarbonato de sódio ou sal de cozinha
- 100 mL de bicarbonato de sódio dissolvido em água
- 100 g de café solúvel em pó ou açúcar
- 100 mL de café solúvel em pó dissolvido em água
- 1 borracha escolar
- 1 moeda

PREPARE-SE!

Levantem hipóteses a respeito de quais das amostras a serem testadas serão capazes de conduzir eletricidade.

PROCEDIMENTO

A montagem e execução do experimento deve ser realizada pelos estudantes sob supervisão do professor responsável pela turma.

Etapa 1 Construção de dispositivo para medição da condutividade elétrica

- Separem os materiais necessários e os observem na ilustração ao final das orientações desta etapa, percebendo a função de cada um deles.
- Elaborem um procedimento de montagem do dispositivo, considerando a ordem em que cada parte deve ser montada. Compartilhem com o professor e aguardem a orientação dele para seguir para o próximo passo.
- Sigam as etapas do procedimento elaborado e montem o dispositivo para a medição da condutividade elétrica. Se algo der errado, revejam o procedimento elaborado e a montagem realizada. Verifiquem e realizem os ajustes necessários, sempre com o apoio do professor.

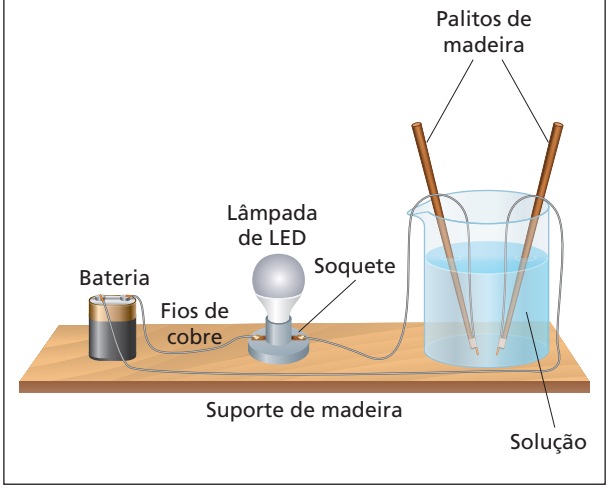
Continua

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Continuação

Para orientações de como construir o equipamento e como utilizá-lo com eficiência e segurança, consulte o Suplemento para o professor.

Montagem do dispositivo



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

(Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Etapa 2

- Testem a condutividade dos materiais, cuidando para encostar apenas nos palitos de madeira e não encostar nos fios de cobre.

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Etapa 3

- Copiem no caderno o quadro a seguir, completando-o com o resultado de cada experimento.

Material testado	Observação
Água de torneira	
Bicarbonato de sódio sólido	
Bicarbonato de sódio dissolvido em água	
Café solúvel em pó sólido	
Café solúvel em pó dissolvido em água	
Borracha escolar	
Moeda	

MODELO MODELO

1. Por que a lâmpada acende apenas quando os fios condutores estão em contato com alguns dos materiais?
2. Quais materiais permitiram que a lâmpada acendesse? O que eles têm em comum?
3. Proponha uma explicação para os resultados obtidos com bicarbonato de sódio sólido e com bicarbonato de sódio dissolvido em água.
4. Considerando o resultado do experimento, explique por que as luvas de borracha são itens de equipamento de proteção individual (EPI) para profissionais que lidam com a manutenção da rede elétrica.

WELCOMIA/ISTOCK/GETTY IMAGES

Eletricista manipulando uma lâmpada acesa.

Ligações iônicas

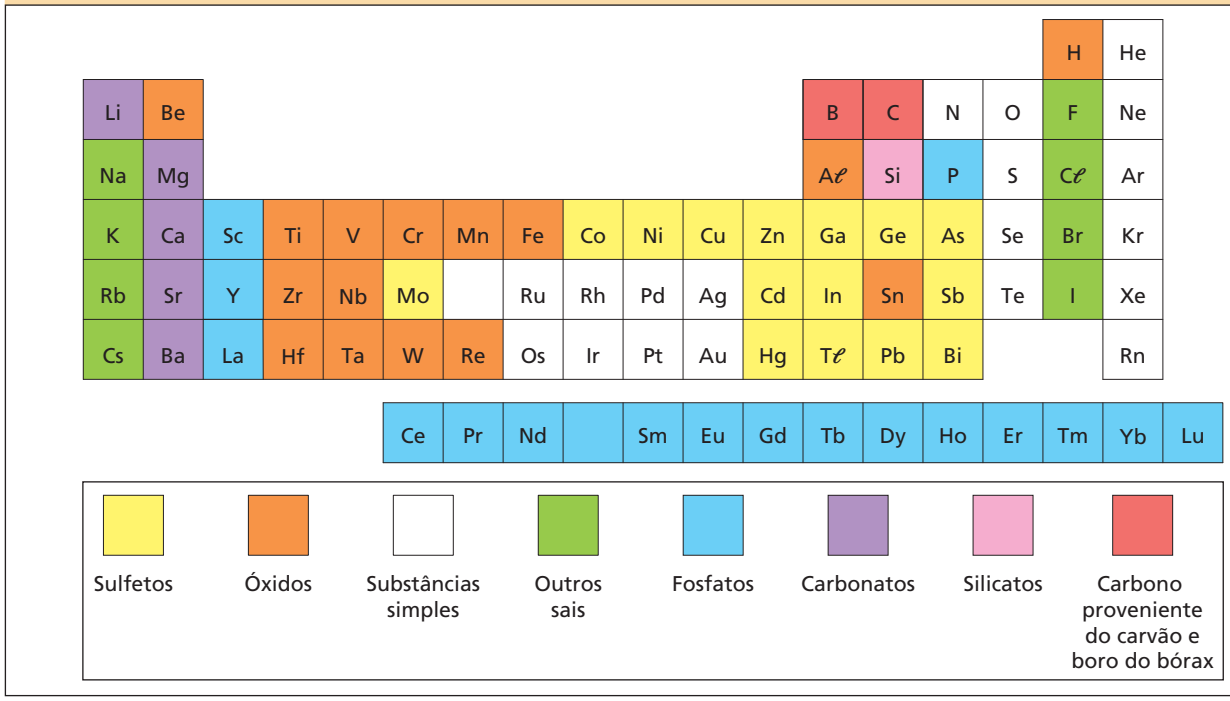
No Brasil, o minério mais comum para a obtenção de terras-raras é a monazita, que geralmente se apresenta na forma de fosfato. A areia monazítica pode ser encontrada, por exemplo, em algumas praias de Guarapari (ES), sendo periodicamente coletada para estudos científicos.

A maioria dos elementos químicos metálicos é encontrada na natureza na forma de óxidos (O^{2-}), sulfetos (S^{2-}), haletos (ânions do grupo 17, os quais apresentam valência –1), carbonatos (CO_3^{2-}), fosfatos (PO_4^{3-}) ou outras espécies de caráter predominantemente iônico. Note, na imagem a seguir, a forma como alguns elementos químicos podem ser encontrados na natureza: a maioria deles ocorre como substância composta. A ocorrência natural dos elementos químicos na forma de substâncias simples ou de substâncias compostas pode ser explicada pela **reatividade**, ou seja, a facilidade com que as espécies químicas participam de transformações químicas.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Ocorrência de elementos químicos na natureza



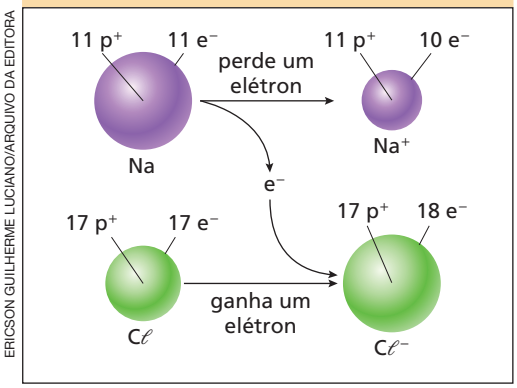
Fonte: KOTZ, J. C. *et al*. **Chemistry & Chemical Reactivity**. 10th ed. Boston: Cengage Learning, 2019. v. 2.

Tabela periódica simplificada apresentando a forma de ocorrência de alguns elementos químicos na natureza.

Formação de íons e estabilidade energética

A formação de íons positivos e íons negativos está relacionada à energia de ionização (E_i) e à afinidade eletrônica (E_{ae}) dos átomos. Observe o modelo submicroscópico apresentado a seguir.

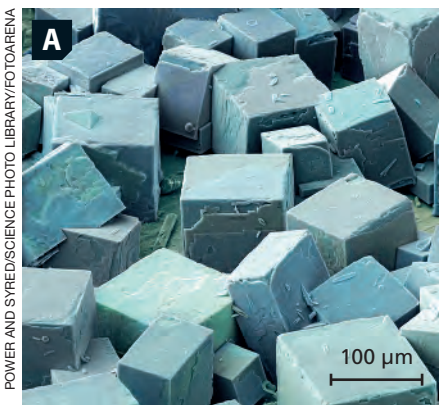
Formação de íons



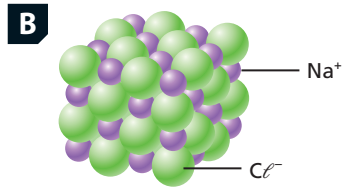
ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: BROWN, T. L. *et al*. **Chemistry**: The Central Science. 15th ed. [*S. l.*]: Pearson, 2022.

Representação esquemática da transferência de elétrons entre os átomos de sódio e de cloro, o que resulta na formação dos íons Na^+ e $C\ell^-$. Os íons têm raios atômicos diferentes dos seus respectivos átomos eletricamente neutros. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)



POWER AND SYRED/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA



(A) Cristais de cloreto de sódio. (Imagem obtida com microscópio eletrônico de varredura, colorizada no computador e ampliada cerca de 124 vezes.) **(B)** Modelo submicroscópico de uma parte do retículo cristalino do cloreto de sódio, o qual consiste em um arranjo periódico tridimensional de cations e ânions alternados. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Considerando as espécies químicas no estado gasoso, o átomo de sódio é ionizado quando absorve determinada quantidade de energia, perdendo seu elétron da camada de valência. O átomo de cloro libera energia ao capturar um elétron. Esse processo ocorre simultaneamente, e o resultado é a formação dos íons sódio (Na^+) e cloreto ($C\ell^-$), ambos com oito elétrons na camada de valência. A substância cloreto de sódio, presente no sal de cozinha, é formada pela ligação entre essas espécies na proporção 1 : 1, o que reflete na neutralidade elétrica da substância em estado sólido.

Assim como na formação de moléculas (compostos formados por átomos ligados covalentemente), podemos considerar a regra do octeto para prever a ligação entre alguns átomos e obter a fórmula química de compostos iônicos, mas é importante destacar que essa regra tem suas limitações.

Como estudamos na formação de moléculas, as ligações químicas geralmente envolvem a formação de uma espécie energeticamente mais estável. Para compreendermos a síntese de um composto predominantemente iônico com base na estabilidade energética, vamos utilizar como exemplo a substância cloreto de sódio. Considere o sistema formado por átomos isolados de sódio e cloro, ambos no estado gasoso.

A formação de cátions sódio e ânions cloreto, ambos no estado gasoso, leva a um sistema de maior energia ($E_i(Na) > E_{ae}(C\ell)$). Porém, as interações entre os íons formam um sistema em que cátions e ânions estão organizados de acordo com uma regularidade geométrica. Esse é um sistema de menor energia, mais estável que as espécies que o originaram. O processo de formação desse sistema pode ser representado pelas equações químicas a seguir.

$$Na(g) \rightarrow Na^+(g) + e^- \qquad E_i = +496 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$C\ell(g) + e^- \rightarrow C\ell^-(g) \qquad E_{ae} = -349 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$Na^+(g) + C\ell^-(g) \rightarrow NaC\ell(s) \qquad E_{retículo} = -786 \text{ kJ mol}^{-1}$$

Note que a energia liberada na formação da substância no estado sólido supera a energia absorvida no processo de formação dos íons no estado gasoso. De maneira geral, esse modelo pode ser estendido aos demais compostos de caráter predominantemente iônico.

Entre os íons ocorrem interações eletrostáticas, ou seja, há repulsão entre íons de mesma carga e atração entre íons de carga oposta. Essa interação de atração entre cátions e ânions é denominada **ligação iônica**. Também se observa repulsão entre elétrons de átomos vizinhos e, de forma semelhante, entre seus núcleos.

Como resultado das forças eletrostáticas de atração e repulsão que ocorrem em todas as direções, os cátions e os ânions organizam-se simetricamente no espaço, resultando na estrutura denominada **retículo cristalino**. Esse modelo ajuda a explicar por que o cloreto de sódio, bem como a maioria das substâncias iônicas (ou seja, as substâncias formadas por íons), é encontrado, a 25 °C e 1 atm, na forma de cristais, com geometria bem definida.

Com base na análise de formação do retículo cristalino do cloreto de sódio, é possível inferir quando a formação de uma ligação iônica é energeticamente favorável: uma vez que o átomo do elemento químico que formará o cátion deve apresentar baixa energia de ionização e baixa afinidade eletrônica, geralmente, têm-se elementos químicos metálicos constituindo tais cátions. Já os ânions serão constituídos por átomos de elementos químicos que apresentem grande energia de ionização e alta afinidade eletrônica, como os não metais. No geral, é energeticamente mais favorável que os metais formem cátions e os não metais formem ânions, interagindo por meio de ligação iônica.

Relembre com os estudantes que a ligação covalente, diferentemente da ligação iônica, ocorre quando átomos de elementos químicos compartilham seus elétrons, ou seja, quando não há formação de íons.

É importante ressaltar que no retículo cristalino não ocorrem ligações entre pares específicos de íons. Na realidade, como as interações eletrostáticas se dão em todas as direções, todos os íons interagem com os demais ao seu redor. A ligação iônica é uma característica do cristal como um todo. Assim, as fórmulas químicas dos compostos indicam qual é a proporção mínima (menores números inteiros) entre os íons que constituem o retículo cristalino, também chamada de **fórmula unitária**.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Registre em seu caderno

NA PRÁTICA Ligação iônica ou ligação covalente?

Os modelos de ligação iônica e de ligação covalente estudados neste volume representam casos extremos. A maioria das ligações reais tem caráter parcial entre esses dois modelos, pois, dependendo da diferença de eletronegatividade entre os átomos envolvidos, ocorre o predomínio de um ou de outro tipo de ligação. Reconhecer o caráter predominante de uma ligação química interatômica é uma das características que nos ajudam a entender e a diferenciar as propriedades dos compostos químicos.

Nesta atividade, vamos analisar a composição atômica de algumas substâncias e, com base nos valores de diferença de eletronegatividade, descrever um **algoritmo** que permita estabelecer se uma ligação química é predominantemente iônica ou covalente.

O termo algoritmo é bastante utilizado pelos cientistas da computação, mas não está relacionado unicamente a um *software* ou a um aplicativo. Na verdade, um algoritmo é um conjunto organizado de passos que permite resolver determinado problema ou atingir um objetivo de forma efetiva. Nós utilizamos algoritmos em diversas situações, como para aquecer um alimento em um forno micro-ondas: primeiro, é preciso abrir a porta do equipamento e colocar o alimento no seu interior para, somente depois, ligá-lo pelo tempo necessário. Pode parecer óbvio, mas, se não executarmos esses passos nessa ordem (ou se pularmos algum deles), o alimento não será aquecido.

Saber descrever um algoritmo é uma habilidade que faz parte de uma estratégia para resolução de problemas chamada **pensamento computacional**. Ela envolve habilidades como a decomposição de problemas, o reconhecimento de padrões e a abstração. Ao decompor um problema, percebemos que é mais fácil resolver cada uma das partes, ao passo que o reconhecimento de padrões nos permite prever os resultados em outras situações semelhantes. Por sua vez, a abstração nos ajuda a reconhecer e selecionar somente as informações mais relevantes para atingir o objetivo desejado.

Ao pensarmos em um algoritmo para reconhecer o caráter predominante de uma ligação química, promovemos a automação desse processo, ou seja, sempre que for necessário fazer esse reconhecimento futuramente, poderemos fazer isso de maneira mais rápida.

OBJETIVO

Desenvolver atitudes e habilidades relacionadas ao pensamento computacional ao criar um algoritmo útil para estabelecer se uma ligação química é predominantemente iônica ou covalente.

MATERIAL

- Folha de papel ou caderno
- Lápis ou caneta

PREPARE-SE!

Analise as fórmulas químicas indicadas a seguir.

H_2O	CaS	Fe_2O_3	$LiC\ell$
$NaC\ell$	CO_2	H_2S	$A\ell_2O_3$
$HC\ell$	NO	BaF_2	CuO
KBr	MgO	HI	

PROCEDIMENTO

- Em dupla com um colega, vocês devem se basear nos conceitos estudados até aqui para categorizar os compostos indicados anteriormente em dois grupos: iônicos ou covalentes.
- Consultem a ilustração **Valores de eletronegatividade** presente no Capítulo 2 e calculem a diferença entre valores de eletronegatividade dos elementos químicos que formam cada uma das substâncias relacionadas nos dois grupos.
- Para cada uma das categorias, organizem os compostos em ordem crescente dos valores calculados na etapa 2.
- Considerando a organização proposta na etapa 3, determinem um valor para a diferença de eletronegatividade a partir do qual o composto pode ser classificado como iônico.
- Em uma folha, descrevam o algoritmo, ou seja, a sequência de passos que podem ser seguidos para estabelecer se uma ligação química é predominantemente iônica ou covalente, com base nos valores de eletronegatividade.
- Reúnam-se com os colegas de outra dupla e compartilhem os algoritmos elaborados. Verifiquem se chegaram às mesmas conclusões e façam ajustes, se necessário.
- Compartilhem os algoritmos com a turma e discutam as diferentes abordagens e conclusões.

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. Qual foi o critério adotado por vocês para classificar os compostos como iônicos ou covalentes na primeira etapa do procedimento?
2. Com base no algoritmo, estabeleçam o caráter da ligação entre os átomos das substâncias $A\ell_2S_3$, $PC\ell_3$ e CH_4.
3. A quantidade de átomos que formam essas substâncias é um fator relevante para estabelecer se um composto é iônico ou covalente?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Os íons e a tabela periódica

A carga de um íon corresponde à quantidade de elétrons que pode ser removida ou acrescentada à camada de valência do átomo que o origina. Ela pode ser prevista por meio da tabela periódica para diversos elementos químicos classificados como representativos, conforme mostra o quadro a seguir.

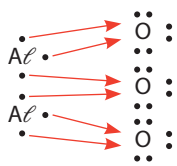
Alguns íons e os grupos aos quais pertencem os elementos químicos correspondentes

Símbolos dos íons	Grupo na tabela periódica
Li^+, Na^+, K^+, Rb^+, Cs^+	1
Mg^{2+}, Ca^{2+}, Sr^{2+}, Ba^{2+}	2
$A\ell^{3+}$	13
O^{2-}, S^{2-}	16
F^-, $C\ell^-$, Br^-, I^-	17

Perceba que o símbolo de cada íon é formado pelo símbolo do elemento químico acompanhado da respectiva carga elétrica sobrescrita à direita. A carga elétrica é representada por um número e um sinal de + (quando houve perda de elétrons) ou – (quando houve ganho de elétrons), com exceção do número 1, que, quando for o caso, não precisa ser escrito. Alguns elementos químicos formam apenas um tipo de íon – é o caso da maioria dos elementos representativos; no entanto, há outros, como os elementos de transição, que podem formar íons com diferentes cargas. O ferro, por exemplo, forma os íons Fe^{2+} e Fe^{3+}.

Independentemente do composto iônico analisado, ele sempre será eletricamente neutro, ou seja, a soma das cargas positivas será sempre igual à soma das cargas negativas. Assim, sua fórmula deve representar não a quantidade total de cátions e ânions, mas, sim, a proporção entre eles no retículo cristalino. Essa proporção é constante para determinada substância e, por isso, é um dos critérios usados para caracterizá-la.

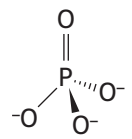
A fórmula da substância pode ser mais bem compreendida ao utilizarmos as fórmulas de Lewis (ou fórmula eletrônica) para representar a ligação iônica. Observe o exemplo com o óxido de alumínio, de fórmula $A\ell_2O_3$, uma das substâncias presentes na bauxita.



Note que, para cada dois cátions alumínio ($A\ell^{3+}$), existem três ânions óxido (O^{2-}) – portanto, em uma proporção 2 : 3. Isso nos permite escrever a fórmula química do óxido de alumínio.

Íons poliatômicos e íons complexos

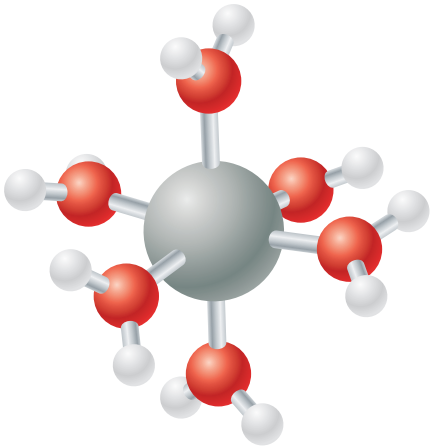
Nem todo íon é formado pelo arranjo de átomos de apenas dois elementos químicos. Alguns íons, denominados **íons poliatômicos**, são formados por átomos de mais de um elemento químico, como é o caso do ânion fosfato, presente em substâncias encontradas na monazita e na xenotima. Esse ânion pode ser representado por PO_4^{3-}. Isso significa que ele é formado por um átomo de fósforo ligado a quatro átomos de oxigênio, sendo a carga do conjunto indicada pelo número sobrescrito (3–). A ligação entre os átomos que formam esse ânion não é iônica, mas, sim, covalente. Outros exemplos de íons poliatômicos são os ânions sulfato (SO_4^{2-}), hidróxido (OH^-) e nitrato (NO_3^-).



Ânion fosfato

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA



Nos chamados **íons complexos**, íons metálicos encontram-se ligados covalentemente a moléculas (como a molécula de água) ou a outros íons, formando com eles uma unidade estrutural que não se dissocia na presença de solvente. Essas moléculas, ou íons, que compartilham um de seus pares de elétrons com o cátion central, são denominadas **ligantes**. Como exemplo, podemos citar o complexo $[Sc(H_2O)_6]^{3+}$, no qual o íon escândio (Sc^{3+}, terra-rara) acomoda em sua eletrosfera os pares de elétrons não ligantes da água.

Nesse exemplo, o cátion escândio é o íon central, e as moléculas de água são os ligantes.

Representação do complexo de $[Sc(H_2O)_6]^{3+}$, em que a esfera central maior representa o íon escândio, enquanto as esferas vermelhas e brancas representam o oxigênio e o hidrogênio das moléculas de água. As ligações entre o íon escândio e as moléculas de água são representadas pelos bastões. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Propriedades dos compostos iônicos

Espera-se que os estudantes percebam a diversidade de compostos que podem ser formados a partir de íons, sem que haja preocupação quanto à memorização de nomes ou de fórmulas.

Os compostos de caráter predominantemente iônico apresentam, geralmente, temperaturas de fusão e de ebulição relativamente elevadas. Essas propriedades, que determinam diversas aplicações desses compostos, podem ser explicadas com o auxílio do modelo de ligação iônica. Elas se relacionam à magnitude das interações eletrostáticas, as quais dependem da carga e do tamanho dos íons. Por exemplo, o NaCℓ funde-se a cerca de 800 °C, enquanto o MgO funde-se a cerca de 2.850 °C.

Como estudamos, a formação da rede cristalina fornece estabilidade ao composto formado e regularidade à sua estrutura. O quadro a seguir apresenta algumas propriedades dos compostos iônicos e seus modelos explicativos.

Algumas propriedades dos compostos iônicos relacionadas à estrutura cristalina

Instrua os estudantes a comparar os dados apresentados com o quadro.

Propriedades	Modelo explicativo
No estado sólido não conduzem eletricidade.	Os íons positivos e negativos formam estruturas cristalinas em redes mantidas pela atração entre as cargas opostas. Nessa estrutura, os íons apresentam pouca mobilidade.
Quando estão no estado líquido, conduzem eletricidade.	Ao ser desfeita a rede cristalina, os íons livres apresentam elevada mobilidade e podem atuar na condução de corrente elétrica.
Apresentam determinada dureza, mas são quebradiços.	Se certa pressão ou tensão é aplicada a um cristal, os planos cristalinos dispostos em redes deslizam, repelindo os íons de cargas iguais e fazendo com que o material seja fraturado.

Fonte: elaborado com base em ATKINS, P.; JONES, L.; LAVERMANN, L. **Chemical principles**: the quest for insight. 7th. ed. New York, NY: W. H. Freeman and Company, 2016.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

1. Os compostos iônicos são eletricamente neutros. Esse é o caso do cloreto de sódio, principal componente do sal de cozinha, que pode ser representado por NaCℓ.

Considere os íons K^+, Mg^{2+}, $A\ell^{3+}$, Br^-, O^{2-} e N^{3-}. Qual alternativa apresenta apenas compostos eletricamente neutros? 1. Alternativa **d**.

a. KBr, MgO e $A\ell Br_2$.

b. K_2O, MgO_2 e $A\ell Br_3$.

c. KO, $MgBr_2$ e $A\ell_2O_3$.

d. K_3N, MgO e $A\ell Br_3$.

e. K_2N, Mg_3N_2 e $A\ell O$.

Continua

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

2. Observe no gráfico a seguir o caráter iônico da ligação em função da diferença de eletronegatividade entre os elementos químicos nos compostos.

Sobre o gráfico, foram feitas as seguintes afirmações.

I. O caráter iônico aumenta conforme diminui a diferença de eletronegatividade entre os átomos.

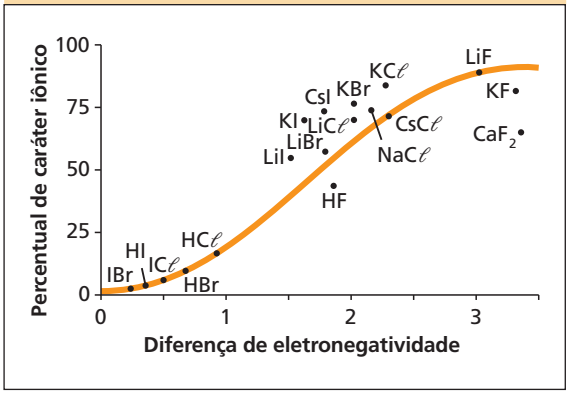
II. Ligações com baixo percentual de caráter iônico são geralmente realizadas entre átomos de elementos químicos não metálicos.

III. Com base em uma diferença de aproximadamente 1,6 na eletronegatividade entre os átomos, o caráter da ligação torna-se predominantemente iônico.

IV. A substância de caráter covalente com maior percentual de caráter iônico é o HF.

Qual das afirmações é incorreta? Justifique.

Caráter iônico das ligações em função da diferença de eletronegatividade



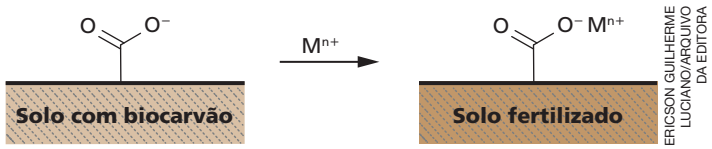
ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: PETRUCCI, R. H. *et al*. **General chemistry**: Principles and modern applications. 10th ed. Toronto: Pearson Prentice Hall, 2010.

Relação entre valores percentuais de caráter iônico obtidos experimentalmente com a diferença de eletronegatividade dos elementos químicos.

3. (Enem) Os solos amazônicos, ricos em silicato, não são apropriados para o cultivo por serem incapazes de reter nutrientes. Contudo, descobertas arqueológicas têm demonstrado que os antigos habitantes da Amazônia dominavam a técnica de preparo de um insumo agrícola natural, denominado terra preta. Esse insumo era constituído principalmente de uma espécie de biocarvão (*biochar*) obtido da queima de matéria orgânica, como troncos de árvores, pedaços de ossos e esterco, capaz de manter um solo fértil por anos.

Admite-se que o efeito do biocarvão na fertilização do solo estava, em parte, relacionado à presença de grupos orgânicos do tipo carboxilato em sua superfície, carregados negativamente (—COO^-). Esses grupos atraem íons positivos necessários como nutrientes, tais quais os provenientes do potássio (K), do cálcio (Ca) e do magnésio (Mg), além de micronutrientes, como zinco (Zn) e ferro (Fe). Essa ligação no solo fertilizado é predominantemente iônica, conforme ilustra a figura, em que M^{n+} representa os cátions metálicos. De acordo com a escala de Pauling, a eletronegatividade do elemento oxigênio é igual a 3,44.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

O quadro apresenta os valores de eletronegatividade desses cinco elementos metálicos.

Elemento metálico	Eletronegatividade
K	0,82
Ca	1,00
Mg	1,31
Zn	1,65
Fe	1,83

MICHALOVIC, M. Ancient Soil Chemists of the Amazon. **ChemMatters**, fev. 2009 (adaptado).

O cátion que resultará em uma interação de maior caráter iônico com o ânion carboxilato será aquele proveniente do elemento 3. Alternativa **a**.

a. potássio. **b.** cálcio. **c.** magnésio. **d.** zinco. **e.** ferro.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Ligações metálicas

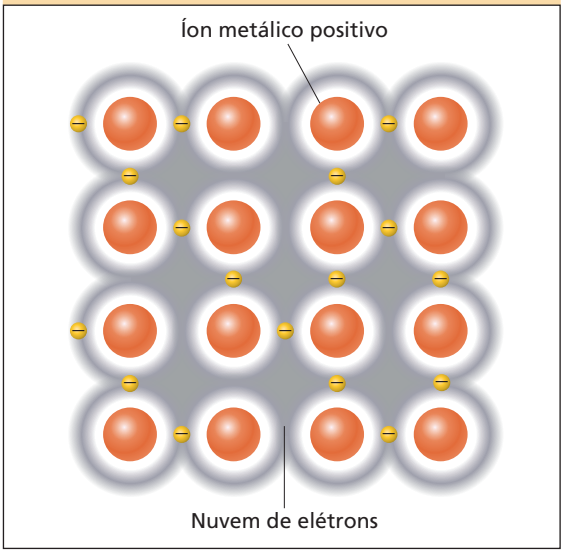
Os óxidos de ferro presentes nos minérios magnetita e hematita são compostos de caráter iônico, não participando da condução de eletricidade no estado sólido. Entretanto, o ferro metálico, que pode ser obtido por meio do beneficiamento desses minérios, apresenta alta condutividade elétrica, assim como outros metais (cobre, alumínio e zinco, por exemplo). Que hipótese pode ser levantada para explicar essa propriedade dos metais?

Os elementos químicos metálicos, de modo geral, apresentam baixa energia de ionização e baixa afinidade eletrônica, além de reduzida tendência em atrair os elétrons em uma ligação química, ou seja, há maior tendência para a perda de elétrons da camada de valência e a formação de cátions. Assim, quando dois átomos metálicos estão próximos, apresentam forças de atração entre núcleos e elétrons muito fracas.

Para que haja a maior atração e a menor repulsão possíveis entre os átomos metálicos, é necessário que muitos deles estejam próximos uns dos outros, em um arranjo tridimensional semelhante ao dos cristais iônicos, atraindo os elétrons dos átomos vizinhos em todas as direções. Quando se considera grande quantidade de átomos, essa soma de interações individualmente fracas resulta em interações muito fortes.

Em um dos modelos propostos para explicar essas interações, os elétrons mais externos dos átomos dos elementos químicos metálicos adquirem mobilidade entre os próprios átomos. Assim, esses átomos têm comportamento semelhante ao dos cátions correspondentes e permanecem ligados pelas forças de atração entre eles e os elétrons livres dos outros cátions metálicos da estrutura. Por isso, pode-se relacionar esse modelo à presença de uma **nuvem eletrônica**, na qual há a livre circulação de elétrons em torno dos cátions, compondo uma rede ou estrutura metálica.

Representação da nuvem de elétrons



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: BROWN, T. L. *et al*. **Chemistry**: The Central Science. 15th ed. [*S. l.*]: Pearson, 2022.

Representação submicroscópica de uma nuvem de elétrons livres em uma estrutura metálica, proposta para explicar a ocorrência da ligação metálica. A região em cinza e as esferas amarelas com sinal negativo representam a nuvem de elétrons livres, e as esferas com sinal positivo representam os cátions metálicos. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Nesse modelo, os elétrons de valência apresentam alta mobilidade, não estando ligados a nenhum átomo em particular. A formação dessa nuvem eletrônica é explicada pela baixa energia de ionização e pela baixa tendência dos átomos de metais em atrair elétrons para si, o que favorece a formação de cátions. Assim, os elétrons de valência desses elementos químicos formam um conjunto de elétrons que circulam livremente na estrutura sem localização definida.

Propriedades dos metais

As propriedades que os metais geralmente apresentam, como maleabilidade, brilho, alta temperatura de fusão, resistência mecânica e altas condutividades elétrica e térmica, devem-se a propriedades submicroscópicas, como a facilidade de movimentação dos elétrons e a formação de estruturas organizadas.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

De modo semelhante ao que ocorre com os compostos iônicos, as intensidades das forças de interação entre as partículas que formam a estrutura metálica, segundo o modelo discutido, fazem com que os metais apresentem altas temperaturas de fusão e de ebulição e elevadas densidades. As condutividades elétrica e térmica dos metais podem ser explicadas pela hipótese da existência de uma nuvem de elétrons que se movimentam livremente pela estrutura, o que permite a condução da corrente elétrica e a transferência de calor. Além disso, esses elétrons na superfície dos metais são capazes de absorver e reemitir a luz; por isso, os metais apresentam brilho característico.

O modelo de nuvem eletrônica proposto para a ligação metálica também explica a **maleabilidade** dos metais, isto é, a propriedade que permite a um material sofrer deformações sem se fragmentar. Isso ocorre porque a presença de elétrons com grande liberdade de movimento produz uma ligação não direcionada. Assim, quando um material metálico é submetido a um esforço mecânico, pode ocorrer facilmente a acomodação de seus cátions e elétrons em novas posições. Essa é a principal diferença entre as estruturas metálicas e as cristalinas iônicas, que são mais rígidas e mais facilmente rompidas.

Ligas metálicas

Ornamentos e utensílios de metal são marcas da cultura de diversas civilizações. Metais preciosos como prata, ouro e platina costumam ser empregados na produção de adornos e estátuas não só por sua beleza ou por serem raros, mas também por serem muito resistentes a transformações químicas. Já utensílios como ferramentas, arados e moedas requerem propriedades que geralmente não são encontradas em uma substância metálica pura; para reunir as características desejáveis, é preciso misturar substâncias diferentes. Quando nessas misturas pelo menos um dos componentes é um metal, tem-se uma **liga metálica**. Como elas apresentam características diferentes das dos metais de que elas são formadas, podem apresentar vantagens para fins específicos. O quadro a seguir reúne as ligas metálicas mais comumente encontradas em nosso cotidiano.

Algumas ligas metálicas, seus principais componentes e aplicações

Nome da liga	Principais componentes	Aplicações
Aço	Fe e C	Utensílios domésticos, indústrias automobilística e naval
Aço inoxidável	Fe, C e Cr	Utensílios domésticos, construção civil, próteses ósseas
Latão	Cu e Zn	Tubos, instrumentos musicais
Ouro 18 quilates	Au, Ag e Cu	Joias
Solda	Pb e Sn	Soldagem de metais
Bronze	Cu e Sn	Moedas, sinos

Fonte: ATKINS, P.; JONES, L.; LAVERMANN, L. **Chemical Principles**: The Quest for Insight. 7th. ed. New York, NY: W.H. Freeman and Company, 2016.

Beneficiamento de minérios

OBJETO DIGITAL
Mapa clicável: Substâncias metálicas no Brasil

Como na maioria das vezes os minérios apresentam-se na natureza associados a outros minerais, rochas e terra, é necessário separar o conjunto de materiais não aproveitáveis daqueles que podem ser explorados economicamente. Essa separação é um dos objetivos do processo denominado **beneficiamento**.

O beneficiamento de alguns minérios, como o de ferro, requer grandes quantidades de recursos, como água e energia, além de gerar resíduos (rejeitos). Essa é uma das razões pelas quais a mineração pode causar grandes desastres – como o ocorrido em Brumadinho (MG), em 2019.

A fim de diminuir os impactos negativos na economia, na saúde pública e no ambiente, vários centros de pesquisa vêm procurando alternativas para purificar substâncias, além de aprimorar as técnicas já existentes. O desenvolvimento da **química verde** já permitiu substituir determinados processos e produtos tóxicos usados nas etapas de extração, separação e produção dos derivados minerais, mas nem todas as substâncias têm suas propriedades bem caracterizadas, o que dificulta a prevenção de impactos ambientais.

Para não reforçar uma visão catastrofista da Ciência, que muitos estudantes mostram ter, leve-os a refletir sobre a importância dos conhecimentos científicos na minimização dos impactos ambientais decorrentes de desastres como o que ocorreu em Brumadinho.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Impactos para além da lama tóxica

Em 2015, o município de Mariana (MG) vivenciou uma tragédia ambiental quando uma barragem de rejeitos de mineração se rompeu, derramando sobre o município e adjacências grande quantidade de lama tóxica. As mortes e os danos ambientais são, sem dúvida, devastadores, mas os impactos de tragédias como essa não param por aí, pois afetam também a permanência da população, inclusive dos jovens, no campo.

Uma das consequências dessa tragédia foi a alta taxa de desemprego em Mariana, superior a 20%. O município, altamente dependente da mineração, enfrentou cortes de gastos, pois 89% de sua receita provinha desse setor, que teve suas atividades paralisadas. Consequentemente, as oportunidades econômicas e educacionais ficaram mais escassas e custosas para os jovens.

Um relatório da Universidade Federal de Ouro Preto indicou a evasão de 21% dos estudantes universitários matriculados no ano de 2022 no *campus* de Mariana. As principais causas dessa evasão, de acordo com o levantamento, foram os custos elevados dos aluguéis com moradias e dificuldades financeiras. Na época, já se observava o aumento dos aluguéis, porque, entre outros fatores, as mineradoras e outras entidades alugaram diversas moradias para pessoas que ficaram desabrigadas em decorrência do rompimento da barragem.

De acordo com o último censo (2022) realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o município tem 61.387 habitantes, incluindo 9.265 jovens de 15 a 24 anos. Diante desse contexto desafiador, a prefeitura de Mariana instituiu a Lei nº 3.720, de 26 de setembro de 2023, que estabeleceu o Programa Municipal de Formação Profissional para Jovens (Projovem), com o intuito de proporcionar aumento da escolarização, aprendizado e capacitação profissional para jovens de 16 a 24 anos incompletos, sobretudo aqueles em situação de vulnerabilidade social.

Vale destacar que o setor de mineração precisa de equipes interdisciplinares e multidisciplinares, o que o leva a, muitas vezes, contratar profissionais de fora da região. Engenheiros de minas, engenheiros ambientais, geólogos, geógrafos, biólogos e sociólogos desempenham papel crucial na fiscalização e na regulação das atividades do setor. Essas equipes inter e multidisciplinares estão envolvidas em diversas atividades, desde estudos de impacto e licenciamento ambiental até fiscalizações em barragens de rejeitos de mineração. Essas estruturas, necessárias após o beneficiamento de minérios, demandam cuidados específicos devido a suas características poluidoras. Os profissionais que atuam em todo o processo de mineração são essenciais para assegurar que as barragens operem de maneira segura, considerando o diagnóstico do meio físico, biótico e antrópico, além de implementar medidas mitigadoras e compensatórias para minimizar impactos ambientais.

ODS 8

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. No contexto de Mariana, qual é a importância do programa citado no texto direcionado aos jovens?
2. Leia o trecho a seguir.

> Art. 31. O jovem tem direito ao território e à mobilidade, incluindo a promoção de políticas públicas de moradia, circulação e equipamentos públicos, no campo e na cidade. Ao jovem com deficiência devem ser garantidas a acessibilidade e as adaptações necessárias. (Lei nº 12.852/2013)

Considere os problemas expostos no texto da seção e proponha uma forma de viabilizar a garantia descrita no artigo 31.

3. De acordo com o *Atlas Nacional da Juventude*, a destruição ambiental é tema que incomoda grande parcela dos jovens no Brasil. Escreva um texto argumentativo contrapondo o crescimento econômico ocasionado pela instalação de atividades de mineração em uma região e os possíveis impactos sociais e ambientais decorrentes dela.
4. Escolha dois profissionais citados no texto e pesquise a atuação deles no setor de mineração. Compartilhe o resultado de suas pesquisas com a turma.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

4. Uma das possíveis estratégias para gerar efeito de humor em uma charge é o uso do duplo sentido. É o que ocorre na charge a seguir. Analise-a e explique o emprego desse recurso expressivo pelo cartunista.

FRANK&ERNEST, BOB THAVES © 2005 THAVES/DIST. BY ANDREWS MCMEEL

5. (FICSAE-SP) Considere as seguintes informações sobre uma liga metálica de bismuto:

5. Alternativa **c**.

Composição (% em massa)	Temperatura aproximada de início de fusão
Bi (38%), Pb (31%), Sn (15%), Cd (16%)	343 K

As características dessa liga metálica permitem seu uso em

a. destiladores de água.
b. isolantes elétricos.
c. fusíveis de dispositivos eletroeletrônicos.
d. panelas antiaderentes.
e. blocos de motores automotivos.

6. (UFRGS-RS) A grande utilização dos metais demonstra sua importância para a humanidade e decorre do fato de as substâncias metálicas apresentarem um conjunto de propriedades que lhes são características. 6. Alternativa **d**.

Considere as informações abaixo que justificam, de forma adequada, propriedades típicas dos metais, com base no modelo do mar de elétrons.

I. Metais apresentam geralmente elevados pontos de fusão devido à grande estabilidade do retículo cristalino metálico.
II. A boa condução de calor ocorre pois o aquecimento aumenta a vibração dos íons positivos, possibilitando que eles capturem os elétrons livres, o que provoca a desestruturação do retículo cristalino metálico e possibilita a propagação do calor.
III. A boa condução de eletricidade é explicável, pois a aplicação de uma diferença de potencial provoca uma movimentação ordenada dos elétrons livres.

Quais estão corretas?

a. Apenas I.
b. Apenas II.
c. Apenas III.
d. Apenas I e III.
e. I, II e III.

7. Um metal de transição do sexto período da tabela periódica costuma ser utilizado misturado a outros dois elementos químicos do quinto e do quarto períodos para a confecção de alianças de noivado ou casamento. Identifique esses elementos químicos e dê o nome da mistura formada por eles.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADES DE FECHAMENTO

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. O quadro a seguir apresenta algumas propriedades medidas, sob condições experimentais adequadas, dos compostos X, Y e Z.

Propriedades físicas (1 atm)

Composto	Dureza	Temperatura de fusão (°C)	Condutividade elétrica
X	Macio	135	Sólido: não conduz Líquido: não conduz
Y	Muito duro	1.600	Sólido: conduz Líquido: conduz
Z	Duro	801	Sólido: não conduz Líquido: conduz

Com base nesses resultados, os compostos X, Y e Z podem ser classificados, respectivamente, como sólidos:

1. Alternativa **c**.

a. molecular, molecular e metálico.
b. molecular, molecular e iônico.
c. molecular, metálico e iônico.
d. molecular, iônico e iônico.
e. iônico, metálico e molecular.

2. (Uerj) Para fabricar um dispositivo condutor de eletricidade, uma empresa dispõe dos materiais apresentados na tabela abaixo:

Material	Composição química
I	C
II	S
III	As
IV	Fe

Sabe-se que a condutividade elétrica de um sólido depende do tipo de ligação interatômica existente em sua estrutura. Nos átomos que realizam ligação metálica, os elétrons livres são os responsáveis por essa propriedade. Assim, o material mais eficiente para a fabricação do dispositivo é representado pelo seguinte número:

2. Alternativa **d**.

a. I.
b. II.
c. III.
d. IV.

3. Leia o texto e responda aos itens **a**, **b** e **c**.

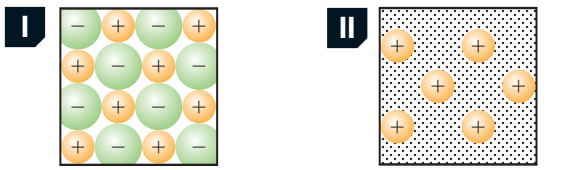
O minério de cromita é valorizado pelo seu teor em óxido crômico (Cr_2O_3), sendo comercializado normalmente com teores de 35 a 55% de Cr_2O_3. O ferro-cromo usualmente contém 50 a 60% de cromo (Cr), enquanto o cromo metálico apresenta mais de 99% de pureza.

Em virtude do [*sic*] aço inoxidável ser o principal uso final para o cromo, a sua produção mundial desempenha um papel determinante na demanda desse bem, com influência marcante sobre os preços das ligas de ferro-cromo e do minério cromita. [...]

Fonte: GONÇALVES, M. M. **Balanço mineral brasileiro – 2001**. Brasília, DF: Agência Nacional de Mineração (ANM). Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), 2001. Disponível em: https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/dnpm/paginas/balanco-mineral/arquivos/balanco-mineral-brasileiro-2001-cromo. Acesso em: 8 maio 2024.

a. Considerando os elementos químicos citados, classifique o tipo de ligação química presente no óxido crômico.

b. Analise as representações esquemáticas de dois tipos de ligação química mostrados a seguir e associe o modelo adequado ao crômio e ao óxido crômico. Justifique sua resposta.

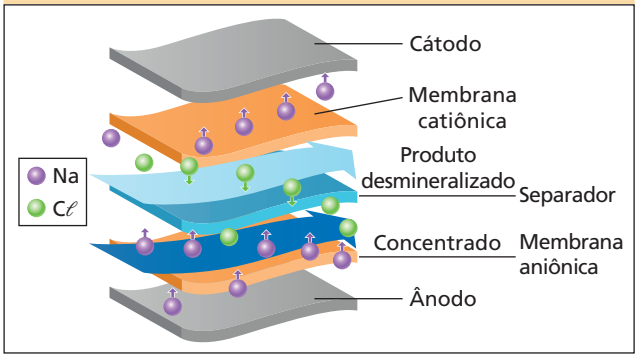


ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

c. Por causa do tipo de ligação química existente no cromo – ou crômio – e no óxido crômico – ou óxido de crômio(III) –, algumas propriedades, como a condutividade elétrica, são bem distintas entre essas substâncias. Explique o porquê dessa diferença de condutividade.

4. A eletrodiálise é uma técnica analítica que combina o uso de membranas de troca iônica com gradiente de potencial elétrico para a remoção de cátions e ânions de soluções aquosas. Com a aplicação de campo elétrico entre dois eletrodos, os íons são atraídos para os polos. Na ilustração a seguir, o cátodo constitui o polo positivo, e o ânodo, o polo negativo.

Eletrodiálise reversa



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em RUBIM, C. Eletrodiálise Reversa (EDR) hoje atende variadas aplicações e trata fármacos e vinhaça. **Revista TAE**, n. 57, out./nov. 2020. Disponível em: https://www.revistatae.com.br/Artigo/664/eletrodialise-reversa-edr-hoje-atende-variadas-aplicacoes-e-trata-farmacos-e-vinhaca. Acesso em: 8 maio 2024.

Representação do processo de eletrodiálise reversa aplicada em uma solução aquosa. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Considere a dissolução em água do $FeSO_4$, processo que leva à dissociação dos íons que compõem o retículo cristalino. Ao se aplicar um campo elétrico a essa solução, qual íon migrará no sentido do polo positivo e qual migrará no sentido do polo negativo? Considere o cátion de ferro com carga +2.

5. Um laboratório recebeu diferentes amostras e, após algumas análises, encontrou as informações apresentadas na tabela a seguir.

Análise das amostras

Amostra	Condutividade elétrica a 25 °C	TF (°C)	TE (°C)
I	Não	–223	–183
II	Em solução	995	1.704
III	Baixa	0	100
IV	Alta	1.596	2.919
V	Em solução	801	1.705

Fonte: HAYNES, W. M. (ed.). **CRC Handbook of Chemistry and Physics**. 97th ed. Boca Raton, FL: CRC Press/Taylor and Francis, 2017.

Resultado das análises químicas de algumas substâncias a 1 atm.

Determine quais amostras podem ser de substância formada por ligações iônicas e de substância formada por ligações metálicas. Justifique.

6. O latão é uma liga metálica formada pelos metais cobre e zinco, com porcentagens que variam entre 5% e 45% de zinco. Ele é utilizado vastamente pela indústria na produção de tubos de condensadores, torneiras, cadeados, terminais elétricos, tachos etc. Utilize a tabela a seguir, com informações sobre a condutividade do latão, e responda aos itens **a** e **b**.

Condutividade elétrica de diferentes amostras de latão

% Cu (massa)	Condutividade elétrica ($10^9/\Omega m$)
95	3,37
90	2,59
85	2,17
80	1,90
70	1,63

Fonte: HAYNES, W. M. (ed.). **CRC Handbook of Chemistry and Physics**. 97th ed. Boca Raton, FL: CRC Press/Taylor and Francis, 2017.

Valores de condutividade elétrica do latão em função do percentual de cobre na liga.

a. Esboce um gráfico relacionando percentual de cobre e condutividade elétrica.

b. Analisando as informações do gráfico, deduza qual dos dois metais seria o mais eficiente na condução de eletricidade quando puro. Justifique sua resposta.

7. Leia o texto a seguir e faça o que se pede.

Entre as propriedades do mercúrio, está a capacidade [...] desse elemento [de] se acumular ao longo da cadeia alimentar, causando a contaminação de peixes e o risco de envenenamento de quem deles se alimenta, inclusive seres humanos. [...]

Para o garimpeiro, o que importa são outras propriedades do mercúrio. Primeiro, a capacidade de se unir a outros metais e formar amálgamas, o que é fundamental em garimpos, onde os minúsculos grãos de ouro precisam ser separados dos sedimentos dragados de leitos de rios ou da terra escavada.

"O mineral na água não é suficiente para causar problemas para a população. O problema é quando ele é transformado em compostos orgânicos, aí ele entra na cadeia trófica, das plantas aos peixes", afirma Bruce Forsberg, especialista em ecossistemas aquáticos, do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (Inpa).

[...]

A capacidade de formar amálgama não é a única propriedade do mercúrio que interessa aos garimpeiros. Ele se liquidifica e evapora em temperaturas menores do que o ouro. Portanto, basta um maçarico para separar os dois metais e obter o ouro puro. Quando realizado em ambiente aberto, esta parte do processo libera o mercúrio em forma de gás para a atmosfera. [...]

Fonte: Porque o mercúrio é usado na mineração de ouro. Portal ((o)) eco. mar. 2013. Disponível em: https://oeco.org.br/reportagens/26988-porque-o-mercurio-e-usado-na-mineracao-de-ouro/. Acesso em: 3 out. 2024.

a. A substância simples formada pelo mercúrio apresenta uma característica única entre todas as outras formadas por metais. Que característica é essa e como ela auxilia a aplicação do mercúrio na separação do ouro?

b. Em relação à produtividade do processo de extração, quais são as vantagens de utilizar mercúrio nos garimpos de ouro?

c. As vantagens identificadas no item **b** justificam o uso do mercúrio diante dos problemas de saúde e ambientais que ele pode causar? Como o conhecimento químico poderia influenciar o trabalho e a qualidade de vida dos garimpeiros?

d. Sabe-se que o mercúrio tem efeito bioacumulativo. No entanto, não consumir plantas e animais contaminados seria suficiente para evitar a intoxicação das pessoas por mercúrio? Justifique sua resposta com base em propriedades físicas do mercúrio citadas no texto.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Capítulo 4

Processos metalúrgicos extrativos

JEAN-BAPTISTE DEBRET - ACERVO FAU - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, SÃO PAULO

Jean-Baptiste Debret. Real fábrica de ferro de São João de Ipanema a três léguas de Sorocaba, 1827. Aquarela, 13,1 cm × 20,1 cm. Coleção particular, São Paulo. A gravura do pintor francês mostra a primeira siderúrgica da América Latina, fundada em 1810 por Dom João VI na região de Sorocaba, interior paulista. Ela contribuiu para o desenvolvimento da indústria de cana-de-açúcar do país, produzindo moendas e outras engrenagens. Mais tarde, também foi fundamental para a construção de ferrovias.

OBJETO DIGITAL ***Podcast*: O impacto dos processos metalúrgicos na saúde dos trabalhadores**

Com base em fontes históricas, a **siderurgia**, ramo da metalurgia voltado à obtenção de ferro a partir de seus minérios, começou a ser desenvolvida entre 3000 a.C. e 2000 a.C., possivelmente de maneira acidental, quando minérios que apresentavam compostos de ferro em sua constituição foram aquecidos na presença de carvão vegetal.

A introdução das técnicas de mineração e metalurgia no Brasil deve-se aos conhecimentos dos africanos escravizados e trazidos para o território brasileiro pelos portugueses oriundos da Costa da Mina – região que abrange atualmente os territórios de Gana, Togo, Benin e Nigéria. Essa região da África Ocidental é considerada um dos primeiros lugares do mundo a entrar na Idade do Ferro.

O aço, liga metálica cujo principal constituinte é o ferro, é um dos materiais mais utilizados no mundo atualmente. O Brasil é um dos grandes produtores mundiais de minério de ferro, exportando-o principalmente para a China, que se destaca na produção de aço. Há duas principais fontes naturais de ferro na forma de óxidos: a hematita, Fe_2O_3, e a magnetita, composta de FeO e Fe_2O_3.

A produção de ferro por processos siderúrgicos contribui para as emissões de CO_2, tornando a compreensão dessa atividade, em relação à quantidade de substâncias envolvidas, não apenas importante do ponto de vista econômico, mas também fundamental para a discussão das questões ambientais ligadas às emissões de gases de efeito estufa. Neste capítulo, serão abordados os conceitos necessários para o entendimento dessas relações.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Conceitos quantitativos

Para compreender os aspectos quantitativos dos processos siderúrgicos e os processos químicos em geral, é fundamental dominar alguns conceitos quantitativos a respeito da matéria e suas transformações.

Unidade de massa atômica e massa molecular

As primeiras tentativas de determinar as massas atômicas envolveram o conceito de massas relativas. Na primeira década do século XIX, o químico britânico John Dalton (1766-1844) apresentou à comunidade científica uma tabela de massas relativas. Para obtê-la, ele comparou as massas necessárias de outros materiais que reagiam com uma massa fixa de um grama de gás hidrogênio. Dessa maneira, Dalton não obteve valores absolutos de massa, mas valores relativos à massa de gás hidrogênio, pois, à época, os aparatos tecnológicos disponíveis não possibilitavam a determinação da massa absoluta dos átomos com a precisão atualmente alcançada. Com os avanços científicos, hoje, como já descrito no capítulo 1, adota-se o isótopo carbono-12 (C-12) como padrão na medida de **massa atômica (*MA*)** dos demais elementos químicos. Vale retomar que uma unidade de massa atômica, 1 u, corresponde a $\frac{1}{12}$ da massa atômica do átomo de C-12 e equivale a aproximadamente $1{,}66 \cdot 10^{-24}$ g.

Já a **massa molecular** (***MM***) é a soma das massas atômicas dos átomos que constituem a molécula. O quadro a seguir apresenta exemplos do cálculo da massa molecular de algumas substâncias.

Massa moleculares de algumas substâncias

Nome da substância	Fórmula química	Massa molecular
Gás hidrogênio	H_2	$2 \cdot 1\ u = 2\ u$
Água	H_2O	$2 \cdot 1\ u + 16\ u = 18\ u$
Glicose	$C_6H_{12}O_6$	$6 \cdot 12\ u + 12 \cdot 1\ u + 6 \cdot 16\ u = 180\ u$

Quantidade de substância e massa molar

As substâncias envolvidas em uma transformação química podem ser mensuradas em miligramas, gramas, quilogramas, toneladas ou outras unidades de medidas de massa, de acordo com seu uso em laboratório, na indústria ou em outras atividades. No entanto, ao nos referirmos às massas unitárias de átomos, íons e moléculas, seus valores são frações das unidades usuais. Por exemplo, a massa de uma molécula de água corresponde a $3{,}0 \cdot 10^{-23}$ g, valor muito baixo para ser quantificado em balanças convencionais.

De acordo com o Sistema Internacional de Unidades (SI), a unidade de medida utilizada para quantificar a matéria e relacioná-la com a quantidade em massa é o **mol**.

Um mol representa um valor constante de espécies químicas (átomos, moléculas, íons etc.), chamado **constante de Avogadro** (N_A), em homenagem ao cientista italiano Lorenzo Romano Amedeo Carlo Avogadro (1776-1856) por sua hipótese para a relação entre o volume dos gases (*V*) e o número de partículas (*N*) contidas nele. O valor dessa constante foi obtido experimentalmente por vários cientistas, que usaram diferentes métodos, e está na base da definição atual de **quantidade de substância** (***n***): um mol corresponde a exatamente $6{,}02214076 \cdot 10^{23}$ partículas (íons, átomos, moléculas, elétrons etc.). Essa relação pode ser esquematizada da seguinte forma:

$$1\ \text{mol de} \begin{cases} \text{átomos} \\ \text{moléculas} \\ \text{íons} \end{cases} \text{equivale a } 6{,}02214076 \cdot 10^{23} \begin{cases} \text{átomos} \\ \text{moléculas} \\ \text{íons} \end{cases}$$

Informe aos estudantes que a expressão "número de mols", embora desaconselhada pela IUPAC, ainda pode ser encontrada em alguns livros e exercícios de vestibular como sinônimo de quantidade de substância.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Considere, por exemplo, 1 mol de átomos de ferro, ou seja, aproximadamente $6 \cdot 10^{23}$ átomos de ferro. Sabendo que cada átomo de ferro tem massa atômica igual a 56 u, a massa de 1 mol de átomos de ferro em gramas, ou seja, a **massa molar** (***M***) do ferro, será:

$$1 \text{ mol de Fe} \simeq 6 \cdot 10^{23} \text{ átomos de Fe}$$

$$1 \text{ átomo de Fe} = 56 \text{ u}$$

$$1 \text{ u} = 1{,}66 \cdot 10^{-24} \text{ g}$$

$$M_{Fe} = 6 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} \cdot 56 \cdot 1{,}66 \cdot 10^{-24} \text{ g}$$

$$M_{Fe} \simeq 56 \text{ g mol}^{-1}$$

De maneira prática, podemos estabelecer a relação de que o valor da massa individual de átomos e moléculas, expressa em u, é igual à massa de um mol desses mesmos átomos ou moléculas, expressa em gramas.

Volume molar

Os sólidos e os líquidos têm volumes molares muito variados, fortemente dependentes das interações intermoleculares envolvidas e, portanto, da natureza das entidades elementares que os constituem. Já os gases têm volumes molares aproximados quando medidos nas mesmas condições de pressão e temperatura. Considerando o comportamento ideal dos gases, ou seja, desprezando as interações entre as moléculas e o volume que elas ocupam no espaço, pode-se dizer que o volume de 1 mol de qualquer gás depende apenas da temperatura e da pressão em que o volume é medido. Esse volume é denominado **volume molar** (***V_M***).

Em 1834, o físico e engenheiro francês Benoît Paul-Émile Clapeyron (1799-1864) deduziu pela primeira vez a equação que ficou conhecida como **equação dos gases ideais**:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

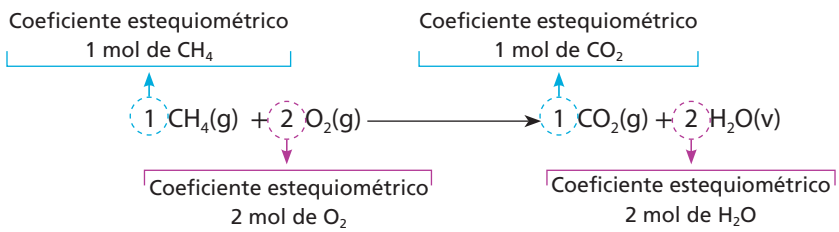
Nessa equação, p é a pressão em atmosfera (atm), V é o volume em litro (L), n é a quantidade de substância em mols do gás, R é a constante dos gases que equivale a 0,082 atm L mol^{-1} K^{-1}, e T é a temperatura em kelvin (K).

Nas condições de 1 atm e 0 °C (273 K), o volume ocupado por 1 mol de qualquer gás ideal é de 22,4 L. Essas condições são conhecidas como **condições normais de temperatura e pressão (CNTP)**. Se considerado nas **condições ambientes de temperatura e pressão (CATP)**, em que a temperatura é de 25 °C e a pressão é de 1 atm, o volume molar é aproximadamente 24,5 L.

No estudo dos próximos tópicos será possível compreender de que forma essas grandezas e unidades de medida se relacionam entre si e possibilitam realizar estimativas quantitativas acerca das reações químicas.

Balanceamento de equações químicas

A representação de uma transformação por meio de **equação química** apresenta a proporção em quantidade de substância entre as diversas espécies (representadas por suas fórmulas químicas) que participam da reação. Isso vai ao encontro da lei da conservação da massa, descrita pelo químico francês Antoine-Laurent Lavoisier (1743-1794), com base na observação de que a soma das massas dos reagentes é sempre igual à soma das massas dos produtos. Assim, na equação química, o número de átomos de cada elemento químico à esquerda da seta (em que estão representados os reagentes) deve ser igual ao número de átomos desses mesmos elementos que aparecem à direita da seta (em que estão representados os produtos). Fazemos esse **balanceamento** por meio de um valor localizado antes de cada fórmula unitária, denominado **coeficiente estequiométrico**. Por exemplo:



Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

No balanceamento de uma equação química, o valor do coeficiente estequiométrico pode ser alterado desde que todos os outros valores sejam alterados pelo mesmo fator, para que a proporção entre os reagentes e os produtos permaneça constante.

Em geral, escolhem-se os menores coeficientes inteiros possíveis. Quando o valor do coeficiente estequiométrico é igual a 1, não é preciso representá-lo na equação química.

ATIVIDADE COMENTADA

Faça o balanceamento utilizando os menores números inteiros para a equação química a seguir.

$$N_2(g) + H_2(g) \rightarrow NH_3(g)$$

Analisar o enunciado

A questão solicita que se faça o balanceamento da equação química apresentada. Para isso, por meio do ajuste dos coeficientes estequiométricos, você deve igualar as quantidades de átomos dos elementos envolvidos.

Selecionar as informações relevantes

Reagentes:

- N (nitrogênio): 2 átomos
- H (hidrogênio): 2 átomos

Produto:

- N (nitrogênio): 1 átomo
- H (hidrogênio): 3 átomos

Aplicar o conceito estudado

Balanceie os átomos de nitrogênio primeiro, pois há mais átomos de nitrogênio nos reagentes (2 átomos) do que nos produtos (1 átomo). Para isso, você pode adicionar um coeficiente antes do $NH_3(g)$. Nesse caso, vamos usar o coeficiente 2:

$$N_2(g) + H_2(g) \rightarrow \mathbf{2}\ NH_3(g)$$

Agora, reconte o número de átomos de cada elemento químico:

Reagentes:

- N (nitrogênio): 2 átomos
- H (hidrogênio): 2 átomos

Produto:

- N (nitrogênio): 2 átomos
- H (hidrogênio): 6 átomos

Para balancear os átomos de hidrogênio, você pode adicionar um coeficiente antes do $H_2(g)$. Nesse caso, vamos usar o coeficiente 3:

$$N_2(g) + \mathbf{3}\ H_2(g) \rightarrow \mathbf{2}\ NH_3(g)$$

Verificar a solução

Verifique se o total do número de átomos de cada elemento químico é igual em reagentes e produto:

Reagentes:

- N (nitrogênio): 2 átomos
- H (hidrogênio): 6 átomos

Produto:

- N (nitrogênio): 2 átomos
- H (hidrogênio): 6 átomos

Como a quantidade de átomos de cada elemento químico é a mesma nos reagentes e produtos, a equação química está devidamente balanceada.

Fique por dentro

Balanceamento de equações químicas

BALANCEAMENTO de equações químicas. PhET Interactions Simulations. Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/balancing-chemical-equations/latest/balancing-chemical-equations_pt_BR.html. Acesso em: 13 maio 2024.

Com esse simulador, é possível retomar a lei de Lavoisier, estudar o balanceamento de equações com o auxílio de ferramentas visuais interativas e verificar sua compreensão sobre o assunto por meio de um jogo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Reação de combustão e pirometalurgia

Nos processos metalúrgicos, uma reação química relevante é a de combustão. A **reação de combustão** envolve a liberação de energia e, frequentemente, de luz. Além disso, reações de combustão geralmente levam à formação de dióxido de carbono (CO_2, denominado, também, gás carbônico) e vapor de água (H_2O), como no caso da combustão do metano (CH_4), principal componente do gás natural veicular (GNV). A combustão do metano está representada a seguir.

$$CH_4(g) + 2\,O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2\,H_2O(v)$$

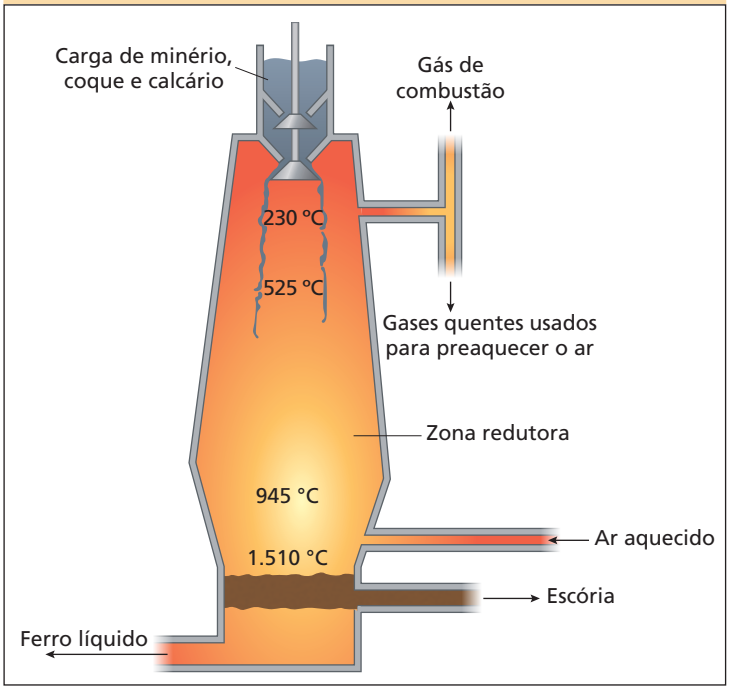
A quantidade de gás carbônico produzida nas reações de combustão das substâncias é limitada por algumas condições reacionais, principalmente pela quantidade de comburente disponível no sistema. Na reação em questão, o **comburente** é o gás oxigênio, e o gás metano é o **combustível** (do latim *comburo*, que significa "queimar inteiramente").

Quando a quantidade de gás oxigênio é suficiente para queimar todo o combustível, produzindo somente CO_2 como espécie que contém átomos de carbono, dizemos que ocorreu uma **combustão completa**. Um combustível muito utilizado nos processos metalúrgicos e nas atividades industriais é o carvão de origem fóssil, pois ele fornece grande quantidade de energia na queima e está disponível mundialmente. O carvão é majoritariamente constituído de carbono, mas apresenta pequenas quantidades de hidrogênio, oxigênio, enxofre e nitrogênio, além de átomos de outros elementos químicos. No entanto, em razão das condições reacionais, a queima do carvão geralmente é uma **combustão incompleta**, o que significa que, além de dióxido de carbono e água, há a formação de outros produtos, como o monóxido de carbono (CO).

A **pirometalurgia** é um processo metalúrgico que utiliza altas temperaturas, simbolizadas nas equações químicas pelo símbolo delta (Δ), para fundir os compostos e promover reações que possibilitam obter a substância metálica de interesse. Esse processo, além de ser empregado para obter algumas terras-raras, pode ser utilizado na obtenção de ferro e cobre, dois metais de grande importância econômica. Juntos, ferro e cobre responderam por cerca de 86% da produção mineral comercializada pelo Brasil em 2021.

Na pirometalurgia, diferentes etapas podem ser empregadas, dependendo do metal que se deseja obter e das características físico-químicas do minério do qual ele será extraído. Por exemplo, na obtenção de ferro, os óxidos de ferro são reduzidos em um alto-forno, que consiste em um enorme reator químico capaz de operar de forma contínua a elevada temperatura.

Obtenção de ferro fundido



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: KOTZ, J. C. *et al*. **Chemistry & Chemical Reactivity**. 10th ed. Boston: Cengage Learning, 2019.

Esquema em corte do funcionamento de um alto-forno usado para a obtenção de ferro. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Um alto-forno pode produzir até 10 mil toneladas de metal por dia. Os maiores altos-fornos chegam a ter mais de 60 m de altura. A seguir, temos uma vista panorâmica de uma usina siderúrgica, bem como o interior de uma usina, em que é apresentado ferro fundido incandescente vertendo para outro recipiente.

ELVIRA NASCIMENTO/ACERVO DO FOTÓGRAFO

ERNESTO REGHRAN/PULSAR IMAGENS

(A) Instalação externa de um alto-forno siderúrgico para a produção de ferro. Ipatinga (MG), 2023. **(B)** Profissional trabalhando nas instalações internas de um alto-forno. Destaque para o ferro líquido incandescente brilhante. Cambé (PR), 2023.

No processo de obtenção do ferro fundido, o alto-forno é carregado com uma mistura de minério de ferro, uma fonte de carbono – que geralmente é o coque, um subproduto do carvão mineral – e calcário. O ar quente que entra na base do alto-forno contém o gás oxigênio necessário para a combustão da fonte de carbono.

O calcário ($CaCO_3$) atua como fonte do óxido de cálcio (CaO), que reage com a sílica (SiO_2) e outros componentes indesejados do minério de ferro para formar a escória. A escória, que é constituída, principalmente, de minerais de silicato fundidos e outros compostos iônicos, pode ser utilizada como matéria-prima da indústria de cimento.

O coque é utilizado como combustível na reação de combustão, representada pela seguinte equação química:

$$2\ C(s) + O_2(g) \rightarrow 2\ CO(g)$$

O vapor de água presente no ar também reage com o carbono do coque, formando monóxido de carbono e gás hidrogênio, absorvendo calor.

$$C(s) + H_2O(g) \rightarrow CO(g) + H_2(g)$$

Enquanto a reação do carbono com o gás oxigênio eleva a temperatura do alto-forno, a reação com o vapor de água diminui sua temperatura. As transformações químicas, realizadas a pressão constante, em que calor é transferido do sistema reacional para a vizinhança, são classificadas como **reações exotérmicas**; as transformações químicas que ocorrem com transferência de calor da vizinhança para o sistema são classificadas como **reações endotérmicas**. Assim, o controle das quantidades de gás oxigênio e vapor de água permite regular a temperatura do alto-forno. O controle termoquímico do processo é fundamental para que ele ocorra com a maior economia de energia possível.

Na parte superior do alto-forno, os óxidos de ferro reagem com a mistura de monóxido de carbono e gás hidrogênio, como descrito nas equações químicas a seguir:

$$Fe_2O_3(s) + 3\ CO(g) \rightarrow 2\ Fe(s) + 3\ CO_2(g)$$

$$Fe_2O_3(s) + 3\ H_2(g) \rightarrow 2\ Fe(s) + 3\ H_2O(g)$$

No fim do processo pirometalúrgico, o ferro fundido é coletado na base do forno e revestido com uma camada de escória fundida formada pela reação de óxido de cálcio com a sílica. Essa camada ajuda a evitar que o ferro fundido reaja com o ar que entra no alto-forno. Esse produto, chamado **ferro-gusa**, pode, então, ser encaminhado para outros processos, como refino e laminação, de acordo com a finalidade desejada.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Os processos pirometalúrgicos necessitam de grandes quantidades de energia para fundir os materiais e, geralmente, produzem grande quantidade de resíduos sólidos, que nem sempre podem ser reaproveitados em outros processos, além de produzir alguns gases poluentes. Como exemplo desses gases, temos o SO_2, no caso dos minérios contendo sulfeto – que está associado ao fenômeno da chuva ácida –, e o CO_2, no caso dos minerais do tipo óxido e carbonato – que está relacionado ao efeito estufa, um fenômeno que será estudando mais adiante.

Em alguns casos, é possível empregar técnicas nas quais o metal é extraído de seus minérios por reações em meio aquoso, envolvendo menor gasto energético em processos relativamente mais simples e ambientalmente mais limpos. Essas técnicas compõem a **hidrometalurgia** e, por meio dela, metais de grande importância econômica, como o alumínio e o cobre, podem ser obtidos.

Aplique e registre Respostas e subsídios no Suplemento para o professor. Registre em seu caderno

Para obter as massas atômicas dos elementos, consulte a tabela periódica presente no final deste volume.

1. A combustão do metano está representada no esquema a seguir, em que as esferas cinza-escuras, brancas e vermelhas indicam, respectivamente, átomos de carbono, hidrogênio e oxigênio.

Com base no esquema, represente a equação química devidamente balanceada da reação em questão. Trata-se de uma reação de combustão completa ou incompleta?

2. Escreva as equações químicas, devidamente balanceadas, dos fenômenos descritos em cada um dos itens a seguir. Para isso, utilize os menores números inteiros.

a. A reação entre o óxido de estanho (SnO_2) sólido e o gás hidrogênio (H_2) produz estanho metálico sólido (Sn) e água (H_2O) no estado gasoso.

b. A combustão do gás butano (C_4H_{10}) envolve sua interação com gás oxigênio (O_2), formando gás carbônico (CO_2) e vapor de água.

c. A solução aquosa de ácido sulfúrico (H_2SO_4) presente na chuva ácida reage com o mármore das estátuas ($CaCO_3$), formando gesso ($CaSO_4$ – sal insolúvel em água), gás carbônico (CO_2) e água.

d. Uma solução aquosa de ácido sulfúrico (H_2SO_4) reage com uma solução aquosa de hidróxido de sódio (NaOH), produzindo sulfato de sódio (Na_2SO_4 – um sal solúvel em água) e água.

Para a resolução desta atividade, se possível, instrua os estudantes a utilizar o simulador indicado no boxe **Fique por dentro**, do começo deste capítulo, selecionando a opção "Introdução".

NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Previsões das quantidades de reagentes e produtos

Uma das etapas da produção de qualquer indústria química é o planejamento da quantidade de reagentes necessários para a obtenção de determinada quantidade de produto. Para isso, é possível fazer a análise dos coeficientes da equação da reação de interesse.

A equação química balanceada representa as proporções em que as substâncias reagem e são produzidas. As relações descritas entre as moléculas envolvidas em uma reação química são equivalentes à relação entre a quantidade de substância (mol) dessas substâncias. Além disso, a partir da equação química balanceada, é possível realizar cálculos e previsões entre as massas das espécies envolvidas na reação, como discutiremos a seguir ao estudar os cálculos estequiométricos.

Relacionando quantidades de reagentes e produtos em um cenário ideal

Os coeficientes estequiométricos permitem que diversas relações sejam estabelecidas quando analisamos uma equação química, todas elas de acordo com as leis ponderais, ou seja, com as relações entre as massas das substâncias envolvidas em uma reação química.

Observe no quadro a seguir algumas relações que podem ser estabelecidas com base na equação química balanceada, que representa a produção de ferro metálico (Fe) a partir da reação em altos-fornos entre o mineral hematita (óxido de ferro(III), Fe_2O_3), o carvão coque (material com alto teor de carbono, C) e o gás oxigênio (O_2).

Ao discutir o quadro, deixe claro quais são as diferenças entre as grandezas. Mostre que as massas dos reagentes e a dos produtos apresentam relações de proporcionalidade.

Equação química	**$2\ Fe_2O_3(s)$** +	**$4\ C(s)$** +	**$O_2(g)$** $\xrightarrow{\Delta}$	**$4\ Fe(\ell)$** +	**$4\ CO_2(g)$**
Quantidade de substância (n)	2 mol	4 mol	1 mol	4 mol	4 mol
Massa ($m = nM$)	2 mol · 159,6 g mol^{-1} ou 319,2 g	4 mol · 12,0 g mol^{-1} ou 48,0 g	1 mol · 32,0 g mol^{-1} ou 32,0 g	4 mol · 55,8 g mol^{-1} ou 223,2 g	4 mol · 44,0 g mol^{-1} ou 176,0 g
Quantidade de partículas ($n \cdot 6 \cdot 10^{23}$)*	2 mol · $6 \cdot 10^{23}$ mol^{-1} ou $12 \cdot 10^{23}$ fórmulas unitárias	4 mol · $6 \cdot 10^{23}$ mol^{-1} ou $24 \cdot 10^{23}$ átomos	1 mol · $6 \cdot 10^{23}$ mol^{-1} ou $6 \cdot 10^{23}$ moléculas	4 mol · $6 \cdot 10^{23}$ mol^{-1} ou $24 \cdot 10^{23}$ átomos	4 mol · $6 \cdot 10^{23}$ mol^{-1} ou $24 \cdot 10^{23}$ moléculas
Volume dos gases nas CNTP ($n \cdot 22{,}4$ L mol^{-1}) 22,4 L = Volume de um mol de gás na CNTP****	—	—	1 mol · 22,4 L mol^{-1} ou 22,4 L	—	4 mol · 22,4 L mol^{-1} ou 89,6 L

* Utilizou-se o valor aproximado da constante de Avogadro para facilitar os cálculos.
** CNTP: condições normais de temperatura e pressão (0 °C e 1 atm).

Como estudamos, pode-se estabelecer **relações entre as massas** das substâncias envolvidas em uma reação química por meio dos coeficientes estequiométricos de sua equação química balanceada. Assim, por exemplo, podemos estimar a massa de ferro metálico que é possível obter a partir de uma tonelada de óxido de ferro(III). Acompanhe.

Com base na equação química balanceada, destaca-se a relação entre as quantidades de substância de interesse (o óxido de ferro(III) e o ferro metálico):

2 mol de Fe_2O_3 — **4 mol** de Fe

Em seguida, é estabelecida a relação entre as massas utilizando as massas molares das substâncias como fator de conversão:

Massa de Fe_2O_3		**Massa de Fe**
2 mol · 159,6 g mol^{-1}	———	4 mol · 55,8 g mol^{-1}
319,2 g	———	223,2 g

De acordo com a lei descrita pelo químico francês Joseph Louis Proust (1754-1826), todas as reações químicas ocorrem seguindo proporções definidas de massas de reagentes e de produtos. Portanto, pode-se determinar a massa de ferro metálico que é possível produzir a partir de uma tonelada ($1{,}0 \cdot 10^6$ g) de óxido de ferro(III), segundo esta regra de três:

Massa de Fe		**Massa de Fe_2O_3**
223,2 g	———	319,2 g
m(Fe)	———	$1{,}0 \cdot 10^6$ g

Assim,

$$m(\text{Fe}) = \frac{1{,}0 \cdot 10^6\ \text{g} \cdot 223{,}2\ \text{g}}{319{,}2\ \text{g}}$$

$\therefore m(\text{Fe}) \simeq 0{,}70 \cdot 10^6\ \text{g} = 0{,}70\ \text{t}$

Isso significa que, a partir de 1,0 t de óxido de ferro(III), estima-se produzir 0,70 t de ferro metálico.

Embora, na indústria, o usual seja reportar as quantidades de reagentes em massa, nos textos acadêmicos é comum encontrar a informação em quantidade de substância. Com base na equação química balanceada, é possível estabelecer a **relação entre a massa e a quantidade de substância**. Analisando ainda a produção de ferro metálico, qual seria a quantidade de substância de carbono necessária para reagir com 1,0 t de óxido de ferro(III)?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Segundo a proporção estequiométrica, 2 mol de óxido de ferro(III), o que corresponde a 319,2 g, reagem com 4 mol de átomos de carbono. Dessa forma, para 1,0 t de Fe_2O_3, temos:

Quantidade de substância de C		**Massa de Fe_2O_3**
4 mol	———	319,2 g
n(C)	———	$1,0 \cdot 10^6$ g

Assim,

$$n(C) = \frac{1,0 \cdot 10^6 \text{ g} \cdot 4 \text{ mol}}{319,2 \text{ g}}$$

$$\therefore n(C) \simeq 1,2 \cdot 10^4 \text{ mol}$$

Isso significa que para reagir com 1,0 t de óxido de ferro(III) são necessários, aproximadamente, $1,2 \cdot 10^4$ mol de carbono.

Quando em uma reação química uma das substâncias é um gás, é possível construir uma **relação entre a massa e o volume** das substâncias, como relacionar o volume desse gás com a massa de outra substância presente no sistema. Para isso, é importante saber que 1 mol de qualquer gás ocupa, aproximadamente, um volume de 22,4 L à temperatura de 0 °C e pressão atmosférica de 101.325 Pa (1 atm), frequentemente denominadas condições normais de temperatura e pressão (CNTP), ou 24,5 L à temperatura de 25 °C e 101.325 Pa (1 atm), frequentemente denominadas condições ambiente de temperatura e pressão (CATP).

Considerando as CNTP, que volume de gás oxigênio é necessário para reagir completamente com 1,0 t de óxido de ferro(III)?

Por meio da equação química balanceada, sabemos que 22,4 L de O_2 são necessários para reagir com 319,2 g de Fe_2O_3(s). Assim, o volume de O_2 necessário para reagir com uma tonelada de Fe_2O_3(s) será calculado segundo a regra de três:

Volume de O_2		**Massa de Fe_2O_3**
22,4 L	———	319,2 g
$V(O_2)$	———	$1 \cdot 10^6$ g

$$V(O_2) = \frac{1 \cdot 10^6 \text{ g} \cdot 22,4 \text{ L}}{319,2 \text{ g}}$$

$$\therefore V(O_2) \simeq 7 \cdot 10^4 \text{ L} = 70 \text{ m}^3$$

Isso significa que, na produção de ferro metálico a partir de 1,0 t de óxido de ferro(III), são necessários, aproximadamente, 70 m^3 de gás oxigênio.

Por fim, é possível verificar uma **relação entre a massa e o número de partículas**, sejam elas átomos, sejam íons ou moléculas, presentes em determinada quantidade de substâncias.

Uma vez que o CO_2 é um gás de efeito estufa, é importante que saibamos dimensionar a quantidade produzida desse gás em diferentes processos, possibilitando a proposição de ações que reduzam sua liberação ou minimizem os impactos inerentes a ele. Vamos estimar a quantidade de moléculas de dióxido de carbono que podem ser liberadas no processo de obtenção de ferro metálico a partir de 1,0 t de óxido de ferro(III).

Verificando a equação química balanceada, sabemos que 319,2 g de Fe_2O_3(s), o que corresponde a 2 mol de Fe_2O_3(s), podem formar 4 mol de CO_2(g). A quantidade desse gás formada a partir da reação química de 1,0 t de Fe_2O_3(s) será calculada conforme a seguir.

Quantidade de substância de CO_2		**Massa de Fe_2O_3**
4 mol	———	319,2 g
n(C)	———	$1 \cdot 10^6$ g

$$n(C) = \frac{1 \cdot 10^6 \text{ g} \cdot 4 \text{ mol}}{319,2 \text{ g}} \simeq 1,2 \cdot 10^4 \text{ mol}$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Assim, se 1 mol de dióxido de carbono apresenta, aproximadamente, $6{,}0 \cdot 10^{23}$ moléculas de CO_2, temos:

Número de moléculas de CO_2		Quantidade de substância de CO_2
$6 \cdot 10^{23}$ moléculas	———	1 mol
$N(CO_2)$	———	$1{,}2 \cdot 10^{4}$ mol

$$N(CO_2) = \frac{1{,}2 \cdot 10^{4}\ \text{mol} \cdot 6 \cdot 10^{23}\ \text{moléculas}}{1\ \text{mol}}$$

$\therefore N(CO_2) \simeq 7{,}2 \cdot 10^{27}$ moléculas

Isso significa que, na produção de ferro metálico a partir de 1,0 t de óxido de ferro(III), podem ser lançadas na atmosfera, aproximadamente, $7{,}2 \cdot 10^{27}$ moléculas de dióxido de carbono. As siderúrgicas têm avaliado, como alternativa para a redução da emissão de CO_2 na produção de ferro metálico, a substituição do carvão coque como agente redutor dos íons Fe^{3+} por gás hidrogênio (H_2).

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor. Registre em seu caderno

Para obter as massas atômicas dos elementos, consulte a tabela periódica presente no final deste volume.

3. Para sistematizar os conceitos trabalhados, copie no caderno o quadro a seguir e complete as lacunas relativas à síntese da amônia a partir dos gases nitrogênio e hidrogênio, conforme a equação química.

1 N_2(g)	+	**3 H_2(g)**	→	**2 NH_3(g)**
1 molécula de gás nitrogênio	reage com	3 moléculas de gás hidrogênio	formando	■ moléculas de amônia
$6{,}0 \cdot 10^{23}$ moléculas de gás nitrogênio	reagem com	■ moléculas de gás hidrogênio	formando	$12 \cdot 10^{23}$ moléculas de amônia
1 mol de moléculas de gás nitrogênio	reage com	■ g de gás hidrogênio	formando	■ mol de moléculas de amônia
■ mol de moléculas de gás nitrogênio	reagem com	36 g de gás hidrogênio	formando	■ mol de moléculas de amônia
■ moléculas de nitrogênio	reagem com	30 mol de gás hidrogênio	formando	■■■ g de amônia

4. Escreva no caderno a equação química da reação entre o óxido de ferro(III), o carvão coque (material com alto teor de carbono, C) e o gás oxigênio (O_2) descrita neste capítulo e determine:

a. a massa de ferro obtida a partir de 160 kg de óxido de ferro(III), considerando que os outros reagentes necessários à transformação estejam em quantidades suficientes para que toda a massa de Fe_2O_3 reaja;

b. a massa de carbono necessária para reagir com os 160 kg de óxido de ferro(III);

c. a quantidade de substância de óxido de ferro(III) necessária para produzir 8 mol de ferro metálico.

5. (Ficsae-SP) Uma forma de reduzir a poluição atmosférica provocada pelo gás dióxido de enxofre (SO_2), produzido em certas atividades industriais, é realizar a lavagem dos gases de exaustão com uma suspensão aquosa de cal hidratada [$Ca(OH)_2$]. Com isso, ocorre uma reação química em que se formam sulfito de cálcio ($CaSO_3$) sólido e água (H_2O) líquida, evitando a emissão do poluente para o ar. Considerando que o volume molar de gás nas Condições Ambiente de Temperatura e Pressão (CATP) é igual a 25 L/mol, para cada 1,2 kg de sulfito de cálcio formado, o volume de dióxido de enxofre, medido nessas condições, que deixa de ser emitido para a atmosfera é de

a. 250 L. **c.** 12,5 L. **e.** 1.250 L.

b. 125 L. **d.** 25 L.

5. Alternativa **a**.

MODELO MODELO

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Relacionando quantidades de reagentes e produtos em um cenário real

O minério de ferro é uma rocha a partir da qual se pode obter ferro metálico de maneira economicamente viável. É encontrado em grandes reservas no Brasil, principalmente no Amapá, no Pará, em Mato Grosso do Sul e em Minas Gerais.

O minério, entretanto, não é constituído apenas do composto químico de interesse – no caso, o óxido de ferro(III). Em sistemas reais, os minérios encontrados naturalmente incluem outras substâncias, denominadas **impurezas**. Essas impurezas não participam da reação de obtenção do metal e devem ser desconsideradas ao estimar a quantidade de ferro metálico que será obtida a partir de determinada quantidade de minério.

Pureza

A obtenção de ferro metálico a partir do minério de ferro é um processo que ocorre em várias etapas e depende do fornecimento de energia na forma de calor. Essa dependência pode ser indicada pelo símbolo delta (Δ) na parte superior da seta que separa reagentes e produtos nas equações químicas, como representado a seguir:

$$2\ Fe_2O_3(s) + 4\ C(s) + O_2(g) \xrightarrow{\Delta} 4\ Fe(\ell) + 4\ CO_2(g)$$

Com base na estequiometria da **equação global**, ou seja, no resultado da soma das etapas que envolvem a obtenção do metal ferro a partir do mineral hematita, calculou-se que 1,0 t de óxido de ferro(III) produz 0,70 t de ferro metálico. Suponha, no entanto, que a porcentagem de impurezas no minério extraído de determinada jazida seja de 10%. Dessa forma, o grau de **pureza** do reagente é 90%, ou seja, 90% da massa do material é óxido de ferro(III). Assim, estabelecemos as relações a seguir:

- Quantidade estimada pela estequiometria, considerando 100% de pureza:
  1,0 t de minério —— 1,0 t de Fe_2O_3 (100%) —— 0,70 t de Fe (100%)
- Quantidade máxima obtida, considerando 90% de pureza:
  1 t de minério —— 90% de 1 t = 0,90 t de Fe_2O_3 —— 90% de 0,70 t = 0,63 t de Fe

A partir de uma tonelada de hematita com 90% de pureza, pode-se obter no máximo 0,63 t de ferro metálico, quantidade inferior a 0,70 t das amostras que não apresentam impurezas.

Reagente limitante e reagente em excesso

De acordo com o exemplo anterior, caso fosse empregada a quantidade de carvão coque e de gás oxigênio equivalente para reagir com 1,0 t de óxido de ferro(III), ao final do processo o carvão coque e o gás oxigênio não seriam consumidos totalmente. Nesse caso, diz-se que o reagente óxido de ferro(III), introduzido em quantidade insuficiente para a obtenção de 0,70 t de ferro, é o **reagente limitante** da reação, ou seja, ele determina a quantidade máxima de produto que pode ser formado.

Com base na equação química apresentada anteriormente, é possível calcular a massa de carvão coque e de gás oxigênio necessária para a reação de 1,0 t de óxido de ferro(III) com 100% de pureza:

Massa de C		**Massa de Fe_2O_3**
48 g	——	319,2 g
m(C)	——	$1 \cdot 10^6$ g

Você pode solicitar aos estudantes que façam os cálculos para o CO_2 como forma de avaliar a compreensão dos conceitos até esse ponto.

Assim,

$$m(C) = \frac{1{,}0 \cdot 10^6\ g \cdot 48\ g}{319{,}2\ g} \therefore m(C) \simeq 1{,}5 \cdot 10^5\ g = 0{,}15\ t$$

Massa de O_2		**Massa de Fe_2O_3**
32 g	——	319,2 g
$m(O_2)$	——	$1 \cdot 10^6$ g

Assim,

$$m(O_2) = \frac{1{,}0 \cdot 10^6\ g \cdot 32\ g}{319{,}2\ g} \therefore m(O_2) = 1{,}0 \cdot 10^5\ g = 0{,}10\ t$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Assim, as quantidades em massa envolvidas, caso não houvesse impurezas nos materiais empregados, seriam:

$$2\ Fe_2O_3(s) + 4\ C(s) + O_2(g) \xrightarrow{\Delta} 4\ Fe(\ell) + 4\ CO_2(g)$$
$$1{,}0\ t \qquad 0{,}15\ t \quad 0{,}10\ t \qquad 0{,}70\ t \quad 0{,}44\ t$$

No caso em que a pureza do material é de 90% de hematita, ou seja, 0,90 t de óxido de ferro(III) em uma tonelada de minério, temos os seguintes valores de massa para as substâncias consumidas e produzidas na reação:

$$2\ Fe_2O_3(s) + 4\ C(s) + O_2(g) \xrightarrow{\Delta} 4\ Fe(\ell) + 4\ CO_2(g)$$
$$0{,}90\ t \qquad 0{,}14\ t \quad 0{,}09\ t \qquad 0{,}63\ t \quad 0{,}5\ t$$

Caso fosse utilizado 0,15 t de carvão coque e 0,10 t de gás oxigênio na reação de 0,90 t de óxido de ferro(III), haveria um excesso de 0,01 t tanto de carvão coque quanto de gás oxigênio. Nesse caso, o carvão coque e o gás oxigênio poderiam ser considerados os **reagentes em excesso**, porque não seriam totalmente consumidos no processo. Esses conceitos são importantes na indústria quando se deseja maximizar o rendimento do processo, sobretudo daqueles de maior custo econômico, e evitar a falta ou o desperdício durante o procedimento.

No caso da obtenção do ferro a partir do minério em uma siderúrgica, o alto-forno é ventilado constantemente, permitindo que o gás oxigênio esteja em quantidade superior à necessária para a reação. Isso faz com que esse gás seja o principal reagente em excesso, garantindo que o óxido de ferro(III) e o carvão coque sejam consumidos com a maior eficiência possível.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Reações consecutivas

A pirita é um mineral de cor dourada que apresenta em sua constituição o dissulfeto de ferro (FeS_2). Esse mineral é conhecido como "ouro dos tolos" devido a sua semelhança ao ouro.

Esse minério de ferro era usado antigamente para a produção de ácido sulfúrico (H_2SO_4) em uma sequência de reações químicas a partir da queima do dissulfeto de ferro, como a representada a seguir.

Equação I. $4\ FeS_2(s) + 11\ O_2(g) \rightarrow 2\ Fe_2O_3(s) + 8\ SO_2(g)$

Equação II. $2\ SO_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2\ SO_3(g)$

Equação III. $SO_3(g) + H_2O(\ell) \rightarrow H_2SO_4(aq)$

Note que o processo completo de produção de ácido sulfúrico não ocorre em apenas uma etapa, mas em três reações químicas, nas quais o produto gerado na etapa anterior é usado como reagente na etapa seguinte.

Supondo que se deseje determinar a massa de FeS_2 necessária para produzir 150 g de H_2SO_4, como podemos relacionar uma substância presente na primeira etapa do processo com uma substância presente na última etapa?

Primeiro, devemos igualar os coeficientes estequiométricos das substâncias que aparecem em mais de uma etapa; no exemplo apresentado, devemos multiplicar a equação II por 4 e a equação III por 8:

Equação I. $4\ FeS_2(s) + 11\ O_2(g) \rightarrow 2\ Fe_2O_3(s) + 8\ SO_2(g)$

Equação II. $8\ SO_2(g) + 4\ O_2(g) \rightarrow 8\ SO_3(g)$

Equação III. $8\ SO_3(g) + 8\ H_2O(\ell) \rightarrow 8\ H_2SO_4(aq)$

Somando as três equações, temos:

Equação global. $4\ FeS_2(s) + 15\ O_2(g) + 8\ H_2O(\ell) \rightarrow 2\ Fe_2O_3(s) + 8\ H_2SO_4(aq)$

JAIME KOWAL/GETTY IMAGES

Pirita. No sul do Brasil, sobretudo no estado de Santa Catarina, há extensas jazidas desse mineral.

A proporção estequiométrica do processo global indica que são necessários 4 mol de FeS_2 ($M = 120{,}0\ g\ mol^{-1}$) para produzir 8 mol de H_2SO_4 ($M = 98{,}1\ g\ mol^{-1}$). Ou seja, para produzir 150 g de ácido sulfúrico, temos:

Massa de FeS_2		**Massa de H_2SO_4**
$4\ mol \cdot 120{,}0\ g\ mol^{-1}$	———	$8\ mol \cdot 98{,}1\ g\ mol^{-1}$
$m(FeS_2)$	———	150 g

Assim,

$$m(FeS_2) = \frac{150{,}0\ g \cdot 480\ g}{784{,}8\ g} \therefore m(FeS_2) \simeq 91{,}7\ g$$

Portanto, são necessários aproximadamente 91,7 g de FeS_2 para produzir 150 g de ácido sulfúrico.

Rendimento de uma reação química

O desenvolvimento da metalurgia possibilitou a obtenção não apenas do ferro, mas também do alumínio, a partir da bauxita, mineral cujo principal componente é o óxido de alumínio ($A\ell_2O_3$).

MISHAINIK/SHUTTERSTOCK

Bauxita. Embora o processo de obtenção do alumínio a partir do minério libere gás carbônico para a atmosfera, o metal é quase 100% reciclado no Brasil, o que diminui seu impacto ambiental.

A obtenção do alumínio metálico a partir do óxido de alumínio pode ser representada pela equação química a seguir:

$$2\ A\ell_2O_3(s) + 3\ C(s) \xrightarrow{\Delta} 4\ A\ell(\ell) + 3\ CO_2(g)$$

A proporção estequiométrica dessa equação química indica que 2 mol de óxido de alumínio reagem com 3 mol de carvão para produzir 4 mol de alumínio metálico. Dessa forma, partindo de uma massa inicial de $A\ell_2O_3$ de duas toneladas, é possível calcular a massa de alumínio que será produzida. Para isso, precisamos das massas molares das substâncias envolvidas: $M(A\ell_2O_3) = 102\ g\ mol^{-1}$; $M(A\ell) = 27\ g\ mol^{-1}$.

Massa de $A\ell$		**Massa de $A\ell_2O_3$**
$4\ mol \cdot 27\ g\ mol^{-1}$	———	$2\ mol \cdot 102\ g\ mol^{-1}$
$m(A\ell)$	———	$2 \cdot 10^6\ g$

Assim,

$$m(A\ell) = \frac{2 \cdot 10^6\ g \cdot 108\ g}{204\ g} \therefore m(A\ell) \simeq 1{,}06 \cdot 10^6\ g$$

A massa de alumínio metálico que pode ser produzida a partir de 2 t de óxido de alumínio é, aproximadamente, 1,06 t. No entanto, no meio reacional, não observamos o rendimento máximo previsto a partir da equação química, em razão de algumas características inerentes ao processo e ao meio reacional, como:

- a reação pode ser reversível, ou seja, parte do produto formado regenera os reagentes;
- perdas na etapa de separação dos produtos formados do meio reacional, nos diversos processos de separação de misturas: cristalização, filtração, extração, decantação, destilação etc.;
- perdas por retirada de alíquotas para análises ao longo do processo;
- resíduos aderidos aos recipientes e utensílios utilizados para o manuseio da mistura reacional;
- os reagentes formam produtos diferentes daqueles previstos pela equação química que descreve o processo estudado.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Assim, o rendimento de um processo pode ser definido como a razão entre a **quantidade de substância ou massa teórica** – o que corresponde à conversão e à recuperação total dos produtos formados, estimadas com base na equação química que descreve o processo – e a **quantidade de substância ou massa real** – obtida ao final do processo.

$$\text{Rendimento (\%)} = \frac{\text{quantidade de substância ou massa real}}{\text{quantidade de substância ou massa teórica}} \cdot 100$$

Como a quantidade de produto formado e obtido ao final do processo, em geral, é menor que a quantidade determinada teoricamente, o rendimento é inferior a 100%.

Anteriormente determinamos a massa de alumínio metálico que seria produzida caso a reação ocorresse com 100% de rendimento. Qual seria a massa de metal produzida considerando o rendimento da reação igual a 85%?

Massa de alumínio		Rendimento
$1{,}06 \cdot 10^6$ g	———	100%
$m(\text{A}\ell)$	———	85%

Assim,

$$m(\text{A}\ell) = \frac{85\% \cdot 1{,}06 \cdot 10^6 \text{ g}}{100\%} \therefore m(\text{A}\ell) \simeq 9{,}0 \cdot 10^5 \text{ g}$$

Portanto, a massa de alumínio metálico produzida seria de aproximadamente 0,9 t, ou seja, 0,16 t a menos do que a quantidade máxima teórica, 1,06 t.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor. Registre em seu caderno

Para obter as massas atômicas dos elementos, consulte a tabela periódica presente no final deste volume.

6. (UPE) Diversos povos africanos apresentavam uma relação especial com os metais, sobretudo o ferro, e, assim, muito do conhecimento que chegou ao Brasil sobre obtenção e forja tinha origem nesse continente. Entre os negros do período colonial, os ferreiros, com seus martelos e bigornas, desempenhavam importante papel político e financeiro. Supondo que mestre ferreiro Taú trabalhava com hematita (Fe_2O_3), quantos quilogramas de ferro aproximadamente seriam produzidos a partir de 500 kg do minério, admitindo uma pureza de 85% do mineral? 6. Alternativa **c**.

$$Fe_2O_3(s) + 3\ CO\ (g) \rightarrow 2\ Fe(\ell) + 3\ CO_2(g)$$

Dados: C = 12 g/mol; O = 16 g/mol; Fe = 56 g/mol

a. 175 kg
b. 350 kg
c. 297 kg
d. 590 kg
e. 147 kg

7. O sulfato de cálcio é a matéria-prima para a produção de giz e é obtido conforme a equação química a seguir:

$$CaC\ell_2(aq) + Na_2SO_4(aq) \rightarrow CaSO_4(s) + 2\ NaC\ell(aq)$$

Determine a massa de sulfato de cálcio produzida a partir de 2 mol de cloreto de cálcio em uma reação com rendimento de 25%.

8. As equações a seguir representam as etapas do processo de obtenção de ferro em altos-fornos siderúrgicos.

$$2\ C(s) + O_2(g) \rightarrow 2\ CO(g)$$

$$3\ CO(g) + Fe_2O_3(s) \rightarrow 2\ Fe(s) + 3\ CO_2(g)$$

Considerando uma pureza de reagentes e rendimento das reações iguais a 100%, determine a massa de carvão, C(s), em quilogramas, necessária para reagir completamente com 1 tonelada de $Fe_2O_3(s)$.

ODS 13

Debate aponta importância do hidrogênio verde para descarbonizar economia

O presidente da Comissão Especial para Debate de Políticas Públicas sobre Hidrogênio Verde (CEHV) [...] propôs nesta quarta-feira [26 de abril de 2023] que o governo federal, em parceria com o Senado, apresente em breve um arcabouço legal para o setor. O senador conduziu audiência pública da comissão com representantes dos governos do Brasil, Chile e Reino Unido para discutir o papel do hidrogênio verde na descarbonização das economias globais.

[...]

Para os participantes da audiência, a utilização de energias renováveis é fundamental como estratégia ambiental, social e econômica para reduzir os impactos das mudanças climáticas no planeta, em especial, do efeito estufa.

[...]

Descarbonização

O hidrogênio verde é uma solução que tem ganhado espaço estratégico em governos e empresas pelo mundo. Isso porque une a possibilidade de descarbonizar a economia (reduzir a emissão de gás carbônico nas atividades econômicas) com as vantagens do hidrogênio como fonte energética. O hidrogênio possui alta densidade de energia, estabilidade, versatilidade e possibilidade de armazenamento — substituindo, por exemplo, as baterias, que apresentam dificuldades logísticas.

Para ser fonte de energia, o hidrogênio precisa ser produzido, ou seja, é uma fonte de energia secundária. Apesar de ser o elemento químico mais abundante, não é facilmente encontrado na natureza em sua forma pura.

O hidrogênio verde se refere à técnica de produção por meio da **eletrólise**, que separa o hidrogênio da água por meio de fontes de energia renováveis, como a solar ou eólica. O processo, portanto, não emite gases poluentes, segundo nota técnica da estatal Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

Eletrólise: técnica de decomposição química de um composto líquido ou em meio aquoso mediante a passagem de corrente elétrica.

Outras técnicas de produção de hidrogênio, muitas delas agressivas ao meio ambiente, recebem no jargão do mercado nomes de outras cores. O hidrogênio marrom, por exemplo, é a técnica de produção a partir do carvão mineral.

[...]

Fonte: AGÊNCIA SENADO. Debate aponta importância do hidrogênio verde para descarbonizar economia. **Senado Notícias**, 26 abr. 2023. Disponível em: https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2023/04/26/debate-aponta-importancia-do-hidrogenio-verde-para-descarbonizar-economia. Acesso em: 14 maio 2024.

1. Quais são as vantagens do uso de hidrogênio verde como combustível? Para sua resposta, considere também os produtos gerados em sua combustão.
2. O texto indica que a produção de hidrogênio verde não gera gases poluentes. Considerando que nesse processo a água líquida é submetida à eletrólise e que, por meio do fornecimento de energia, ela é transformada em dois gases, sendo um deles o hidrogênio (H_2), a afirmação do texto é correta? Justifique sua resposta apresentando a equação química do processo descrito.
3. Pesquise e compare o uso de coque, gás hidrogênio e carvão vegetal na produção de aço em relação à emissão de dióxido de carbono.

AJAMAL/SHUTTERSTOCK

Célula eletrolítica utilizada para eletrólise da água.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADES DE FECHAMENTO

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. O butano (C_4H_{10}) é o principal componente do gás de cozinha. Para manter uma chama acesa em fogo baixo por 2 minutos, gastam-se, em média, 10 g desse reagente. Para essa reação de combustão, indique a massa (em grama) de dióxido de carbono (CO_2) e a quantidade de substância (em mol) de água produzidas.

2. (UPM-SP) Na queima de 10 kg de carvão de 80% de pureza, a quantidade de moléculas de gás carbônico produzida é 2. Alternativa **e**.

a. $17{,}6 \cdot 10^{28}$.
b. $6{,}25 \cdot 10^{27}$.
c. $57{,}6 \cdot 10^{19}$.
d. $4{,}8 \cdot 10^{25}$.
e. $4{,}0 \cdot 10^{26}$.

Dados: massa molar (g mol^{-1}): C = 12, O = 16. $C + O_2 \rightarrow CO_2$

3. É comum, durante a queima de um combustível, o surgimento de uma chama intensa que pode servir para iluminação. A intensidade da luminosidade dessa chama depende da presença de material particulado, como a fuligem (partículas sólidas formadas por átomos de carbono). Sabendo que a fuligem é resultante da combustão incompleta de combustíveis e que esse tipo de reação é mais comum em materiais com alto teor de carbono (razão entre o número de átomos de carbono e o número de átomos de hidrogênio), explique por que a combustão do etino (C_2H_2) emite mais luz que a combustão do etano (C_2H_6).

4. Analise o quadro a seguir, que mostra os valores de massa dos reagentes e os produtos envolvidos na reação de combustão de 1 mol de hidrogênio. Reescreva-o no caderno, completando os campos pintados em cinza com os valores corretos, e responda aos itens a seguir.

Experimento	Massa (g)				
	O_2	H_2	H_2O	O_2 que não reagiu	H_2 que não reagiu
1	0,032	0,002	0,018	0,016	0,0
2	0,032	0,004	0,036		0,0
3	0,032		0,036	0,0	0,002
4	0,080	0,015	0,090	0,0	

a. Escreva a equação química da combustão do hidrogênio.
b. Explique que lei experimental foi aplicada para determinar os valores da tabela.
c. Que massa de gás oxigênio é necessária para reagir totalmente com 0,010 g de hidrogênio?
d. Se reagirmos 1,60 g de gás oxigênio com 0,30 g de hidrogênio, qual deverá ser a massa de água formada?

5. A columbita é um minério que apresenta em sua composição o pentóxido de nióbio (Nb_2O_5), substância da qual se extrai nióbio metálico. Uma das formas de obter esse metal é por meio do processo que pode ser representado de forma simplificada pela equação química a seguir.

$$3\ Nb_2O_5(s) + 10\ A\ell(s) \rightarrow 6\ Nb(s) + 5\ A\ell_2O_3(s)$$

Durante um processo de extração de nióbio foram usadas 2 toneladas de alumínio e 5 toneladas de columbita, que apresenta pureza de Nb_2O_5 de apenas 30%. Com base nessas informações, responda:

a. quanto nióbio metálico poderia ser obtido nesse processo?
b. qual é o reagente limitante dessa reação?
c. qual é o reagente em excesso? Quantas partículas desse reagente restaram ao fim da reação?

6. (Fuvest-SP) Nas mesmas condições de pressão e temperatura, 50 L de gás propano (C_3H_8) e 250 L de ar foram colocados em um reator, ao qual foi fornecida energia apenas suficiente para iniciar a reação de combustão. Após algum tempo, não mais se observou a liberação de calor, o que indicou que a reação havia se encerrado. Com base nessas observações experimentais, três afirmações foram feitas:

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

MODELO MODELO

Continua

I. Se tivesse ocorrido apenas combustão incompleta, restaria propano no reator.

II. Para que todo o propano reagisse, considerando a combustão completa, seriam necessários, no mínimo, 750 L de ar.

III. É provável que, nessa combustão, tenha se formado fuligem.

Está correto apenas o que se afirma em 6. Alternativa **d**.

a. I.

b. III.

c. I e II.

d. I e III.

e. II e III.

Note e adote: Composição aproximada do ar em volume: 80% de N_2 e 20% de O_2.

7. Foram extraídas 2,5 t de hematita, óxido de ferro(III), de uma jazida brasileira. A produção na siderúrgica a partir do mineral extraído dessa jazida produziu 1,68 tonelada de ferro metálico. Supondo que carvão e gás oxigênio estão presentes em excesso nesse processo, determine:

a. a quantidade de óxido (em tonelada) que reagiu.

b. a quantidade de impurezas residuais.

c. o rendimento (em porcentagem) da reação.

8. (Enem) No Japão, um movimento nacional para a promoção da luta contra o aquecimento global leva o *slogan*: 1 pessoa, 1 dia, 1 kg de CO_2 a menos! A ideia é cada pessoa reduzir em 1 kg a quantidade de CO_2 emitida todo dia, por meio de pequenos gestos ecológicos, como diminuir a queima de gás de cozinha.

Um hambúrguer ecológico? É pra já! Disponível em: https://lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/lqes_news/lqes_news_cit/lqes_news_2007/lqes_news_novidades_1036.html. Acesso em: 24 fev. 2012 (adaptado).

Considerando um processo de combustão completa de um gás de cozinha composto exclusivamente por butano (C_4H_{10}), a mínima quantidade desse gás que um japonês deve deixar de queimar para atender à meta diária, apenas com esse gesto, é de 8. Alternativa **b**.

Dados: $CO_2 = 44\ g\ mol^{-1}$; $C_4H_{10} = 58\ g\ mol^{-1}$.

a. 0,25 kg.

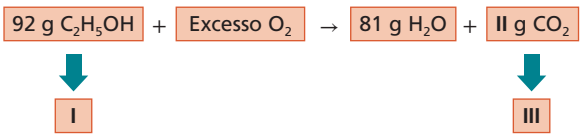
b. 0,33 kg.

c. 1,0 kg.

d. 1,3 kg.

e. 3,0 kg.

9. No laboratório, estudantes realizaram um experimento envolvendo a combustão completa do etanol (C_2H_5OH). Eles organizaram os resultados desse experimento conforme o esquema a seguir.



Utilizando as informações contidas nas anotações dos estudantes, determine:

I. a pureza do etanol utilizado;

II. a massa de gás carbônico produzido;

III. o volume de gás carbônico liberado, considerando as condições normais de temperatura e pressão.

10. Faça uma pesquisa em fontes confiáveis sobre os princípios da química verde. Depois, procure informações sobre o desastre ocorrido em novembro de 2015 no município de Mariana (MG) com uma barragem contendo rejeitos da extração de minério de ferro. Com base nos dados coletados, elabore um texto sobre as possíveis contribuições da química verde para o setor de mineração.

Reflita sobre seu aprendizado!

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

Agora que o trabalho com esta unidade foi finalizado, é o momento de você refletir sobre seu aprendizado e identificar novos interesses para continuar aprendendo. Para isso, analise e responda às questões a seguir.

- Retome as questões da seção **Pense nisso!** na abertura desta unidade e avalie se concorda com suas respostas anteriores depois das discussões realizadas ao longo do estudo dos capítulos. Reescreva-as, se for necessário.
- O que você aprendeu acerca dos assuntos abordados nesta unidade?
- Quais assuntos/atividades geraram mais dificuldades para sua aprendizagem? Como você superou essas dificuldades?
- Reveja os pontos que deixaram dúvidas e que não foram bem compreendidos. Converse sobre eles com os colegas e com o professor a fim de planejarem outras possíveis estratégias de estudo.
- O que mais você gostaria de saber sobre os conteúdos abordados nesta unidade?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

EDUCAÇÃO MIDIÁTICA

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Explorando os vieses da informação

Conhecemos o mundo, em grande parte, por aquilo que ouvimos falar a respeito dele. Todos os dias, inúmeras notícias são produzidas com o objetivo de fazer com que a sociedade conheça o que se passa em diferentes localidades. No entanto, ainda que o noticiário busque fazer um relato objetivo da realidade, não é possível esperar neutralidade de nenhum tipo de narrativa. Mesmo que não estejamos diante de um artigo de opinião, cujo objetivo é tomar partido de algo ou de alguém, conteúdos informativos também têm viés, isto é, um posicionamento, uma visão de mundo colocada, ainda que sem querer, por quem narra um fato. Antes de nos levantarmos contra isso, acreditando que essa atitude é desonesta, é preciso refletir: É possível narrar um acontecimento com total isenção ou imparcialidade?

Especialistas em comunicação nos dizem que não. Isso porque todos interpretam o que acontece ao nosso redor a partir dos nossos valores, ou seja, do que, ao longo da vida, aprendemos ser certo ou errado. Portanto, o que falamos a respeito do mundo sempre vem acompanhado daquilo que pensamos sobre ele e dos nossos julgamentos da realidade. Isso, no entanto, não faz com que o discurso seja inválido. Ao contrário, é importante reconhecer o posicionamento de um conteúdo informativo para diversificar nossas fontes de informação, buscando por informações que explorem diferentes vieses, o que nos ajuda a construir uma visão de mundo que leve em conta essa pluralidade de experiências e visões sobre a realidade.

Para aprofundarmos a reflexão sobre esse assunto, leia a seguir três trechos que noticiam informações a respeito do rompimento das barragens de Fundão e Santarém, localizadas no município de Mariana (MG), que ocorreu em 2015. Cada um desses discursos exprime vieses diferentes acerca de um mesmo acontecimento.

> A Samarco, o Ministério Público do Espírito Santo, o Ministério Público Federal e o Ministério Público do Trabalho assinaram um Termo de Compromisso Socioambiental (TCSA) preliminar. O documento visa estabelecer ações e procedimentos nos municípios de Baixo Guandu, Colatina, Linhares e Marilândia, a fim de prevenir e mitigar os impactos socioambientais decorrentes do **acidente** nas barragens de Fundão e Santarém, localizadas em Mariana (MG).
>
> **Fonte:** TERMO de compromisso assinado com o Espírito Santo. **Samarco**, Belo Horizonte, 16 nov. 2015. Disponível em: https://www.samarco.com/termo-de-compromisso-assinado-com-o-espirito-santo/. Acesso em: 12 set. 2024.

> O rompimento da barragem do Fundão, operada pela mineradora Samarco em Mariana (MG), se tornou [...] o primeiro crime ambiental brasileiro classificado como violação de direitos humanos por parte do CNDH (Conselho Nacional de Direitos Humanos).
>
> **Fonte:** OLIVEIRA, M. Mariana vira 1º crime ambiental apontado como violação de direitos humanos. **UOL**, São Paulo, 16 dez. 2019. Disponível em: https://noticias.uol.com.br/meio-ambiente/ultimas-noticias/redacao/2019/12/16/mariana-pela-1-vez-conselho-aponta-crime-ambiental-como-violacao-de-dh.html. Acesso em: 12 set. 2024.

> Em março de 2016, quatro meses após a **tragédia**, a Samarco, suas acionistas [...], a União e os governos de Minas Gerais e do Espírito Santo assinaram um acordo que ficou conhecido como Termo de Transação e Ajustamento de Conduta (TTAC). Ele estabelece 42 programas. A indenização é tratada em um deles, mas há outros que abordam, por exemplo, os processos de reflorestamento, a melhoria da qualidade da água e a reconstrução das comunidades que foram destruídas.
>
> **Fonte:** RODRIGUES, L. Sete anos após tragédia de Mariana, entenda o processo indenizatório. **Agência Brasil**, Mariana, 5 nov. 2022. Disponível em: https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2022-11/sete-anos-apos-tragedia-de-mariana-entenda-o-processo-indenizatorio. Acesso em: 12 set. 2024.

Observe o emprego dos termos que foram destacados em cada um dos trechos e reflita sobre os questionamentos a seguir. Você pode fazer esta atividade com um(a) colega de turma.

1. Que sentidos estão presentes nas palavras "acidente", "crime" e "tragédia", usadas para qualificar o fato narrado, e o que elas revelam sobre seus enunciadores?
2. Os termos destacados refletem vieses diferentes acerca do rompimento das barragens?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Continua

Ampliação de repertório

A partir dos trechos analisados, vamos aprofundar nossa compreensão sobre os vieses que integram as informações a respeito do rompimento das barragens na cidade de Mariana (MG).

Primeiro, investigue as fontes. Para isso vocês devem pesquisar sobre o propósito de cada meio de comunicação nos quais as informações foram disponibilizadas e na intenção de cada conteúdo. As perguntas a seguir irão ajudá-lo(a) a tirar conclusões:

3. Quais são os veículos que estão noticiando o assunto?
4. Quais são as intenções dessas publicações?
5. De que lugar falam sobre o assunto?
6. Na sequência, busque mais notícias e outros conteúdos jornalísticos sobre esse fato, procurando localizar ao menos um conteúdo que considere profundo e equilibrado sobre essa ocorrência. Encontre um mesmo conteúdo que traga análise de diferentes especialistas, como profissionais da área, e apresente mais de um ponto de vista sobre o fato.
7. Nos conteúdos encontrados por você, houve consenso acerca desse tema entre especialistas, sociedade civil e comunidade científica? Colete as evidências sobre isso.

Produção de conteúdo

Agora que exploramos informações diferentes sobre esse acontecimento, que tal criar um artigo em que você deverá expor claramente seu posicionamento sobre esse fato, apresentando informações que sustentem seu argumento?

Experimente começar por uma das três palavras que destacamos nos excertos estudados, desde que esta sintetize sua opinião sobre o fato. Caso tenha construído um posicionamento diferente dos três discursos analisados, você também pode explorá-lo.

Busque estruturar seu texto em pelo menos três parágrafos, a partir da seguinte estrutura:

Parágrafo 1: apresentação e tese. Introduza o tema de forma clara e concisa, relembrando o seu contexto (onde, quando e como aconteceu). Depois, explicite sua opinião sobre o tema de forma objetiva. Essa é a ideia central que você defenderá no artigo.

Parágrafo 2: argumentação e desenvolvimento. Apresente seus principais argumentos para sustentar sua opinião. Utilize dados que você coletou no exercício de investigação que sustentem seu posicionamento. Nesse contexto você pode também expor opiniões contrárias à sua, mas no artigo de opinião você deve refutá-las, ou seja, explicar por que discorda delas.

Parágrafo 3: reforço e conclusão. Para finalizar, recapitule os principais pontos da sua argumentação, reforçando sua tese. Você pode ainda apresentar sugestões de como o problema abordado pode ser solucionado ou a situação melhorada.

Autoavaliação

Este espaço é destinado para reconhecer seus pontos fortes e oportunidades de melhoria em seu processo de aprendizagem. Anote em seu caderno o nível de desempenho para cada critério listado a seguir. Combine previamente com o professor o que é esperado para os níveis de desempenho: avançado, adequado, básico e iniciante. Seguem os critérios adotados para essa proposta:

- Analisar as perspectivas ideológicas que atravessam informações sobre fatos socioambientais.
- Identificar o posicionamento dos autores da informação e os pontos de vista que permeiam a escolha por palavras e termos específicos.
- Explorar diferentes perspectivas para um mesmo fato e refletir sobre a importância da pluralidade de pontos de vista para a formação de uma visão complexa da realidade.
- Expressar opinião a partir da exploração e análise de múltiplos vieses.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

UNIDADE 2

ENERGIA E SUSTENTABILIDADE

© BORDALO II/AUSTIN NOVY/CHOP EM DOWN

Mesmo que a maior parte da quantidade de plásticos descartados seja destinada aos aterros sanitários, grande volume desse material acaba poluindo os mares. O objetivo do artista visual lisboense Bordalo II (1987-) é que suas obras, cuja matéria-prima é o lixo, sejam um manifesto universal contra o consumismo desenfreado e a destruição do planeta. Na fotografia, **Whales Day**, escultura de uma baleia em tamanho real feita de diferentes plásticos. Bora Bora, Polinésia Francesa, 2019.

O tema desta unidade também é trabalhado nos volumes de Biologia e de Física desta coleção.

Nesta unidade, vamos tratar de combustíveis e materiais plásticos, ambos do ponto de vista da sustentabilidade e de seus impactos ambientais. Vamos começar explorando os processos que envolvem absorção e liberação de energia térmica e suas correlações com o metabolismo dos sistemas vivos. Em seguida, vamos explorar os detalhes da produção de outra forma de energia, a elétrica, e sua relação com a sustentabilidade. Por fim, retomaremos o tema sustentabilidade, mas com foco nos materiais que podem ser considerados sustentáveis e renováveis, com ênfase nos biocombustíveis, nos recicláveis e nos biodegradáveis.

Registre em seu caderno

Pense nisso!

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. Como os organismos que controlam a temperatura corpórea conseguem fazê-lo, uma vez que, na natureza, tudo tende ao equilíbrio térmico?
2. Quando se prepara uma salada de frutas, adiciona-se suco de laranja (rico em vitamina C) com o intuito de evitar que algumas frutas – como a banana – escureçam. Como você explicaria o processo de escurecimento da banana, que se inicia pouco tempo depois de ser cortada? Como a vitamina C impede esse processo?
3. O Prêmio Nobel de Química de 2019 foi atribuído a três cientistas que desenvolveram as baterias de íons lítio. Que avanços o desenvolvimento desse tipo de dispositivo proporcionou à sociedade?
4. Por que a contínua pesquisa para o desenvolvimento de biocombustíveis é importante?

A abertura proposta possibilita refletir sobre a quantidade de resíduos gerados em decorrência dos nossos hábitos de consumo. O trabalho em conjunto dos componentes curriculares da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias se dá pelo debate sobre o impacto ambiental decorrente do modo de vida contemporâneo, bem como sobre as formas de mitigá-lo ou, se possível, superá-lo.

Capítulo 5

Termoquímica

ERNESTO REGHRAN/PULSAR IMAGENS

A energia solar é essencial para a produção de alimentos e a manutenção da vida. Cambé (PR), 2021.

O desenvolvimento e a manutenção da vida, assim como as demais atividades do cotidiano, demandam energia. Os seres vivos obtêm a energia necessária para sua sobrevivência por meio de reações químicas envolvendo substâncias presentes no ambiente. Essas substâncias, por sua vez, são obtidas de animais, como os seres humanos, pela alimentação.

Neste capítulo, vamos começar a estudar os processos de absorção e liberação de energia na forma de calor em transformações químicas, objeto de estudo da área de conhecimento denominada **Termoquímica**. Esse conhecimento é importante para que se compreenda a conservação de energia no ciclo da matéria.

Fique por dentro

Química geral em quadrinhos

GONICK, L.; CRIDDLE, C. Tradução: Henrique E. Toma. São Paulo: Blucher, 2013.

A obra trata de maneira lúdica dos assuntos trabalhados neste capítulo.

Calor e temperatura

A **energia térmica** está relacionada ao estado de agitação da matéria: átomos e moléculas, por exemplo, estão sempre em movimento de rotação, vibração e/ou translação. O grau de agitação médio das espécies químicas que constituem a matéria está diretamente associado à **temperatura**. Isso significa que a temperatura é uma grandeza diretamente relacionada ao estado submicroscópico da matéria.

Os conceitos de **calor** e **temperatura** são tratados tradicionalmente também no componente curricular de Física. Pode-se trabalhar com o professor desse componente para tratar de outros exemplos de emprego de termos científicos de maneira equivocada.

Considere o exemplo de um copo de água líquida gelada que acabou de ser retirado do refrigerador. A temperatura do líquido aumentará espontaneamente até que se iguale à do ambiente – condição denominada **equilíbrio térmico**. Chama-se **calor** a energia em trânsito entre objetos com temperaturas diferentes. Por isso, a expressão "hoje faz muito calor", apesar de comumente utilizada no cotidiano, não faz sentido em um contexto científico.

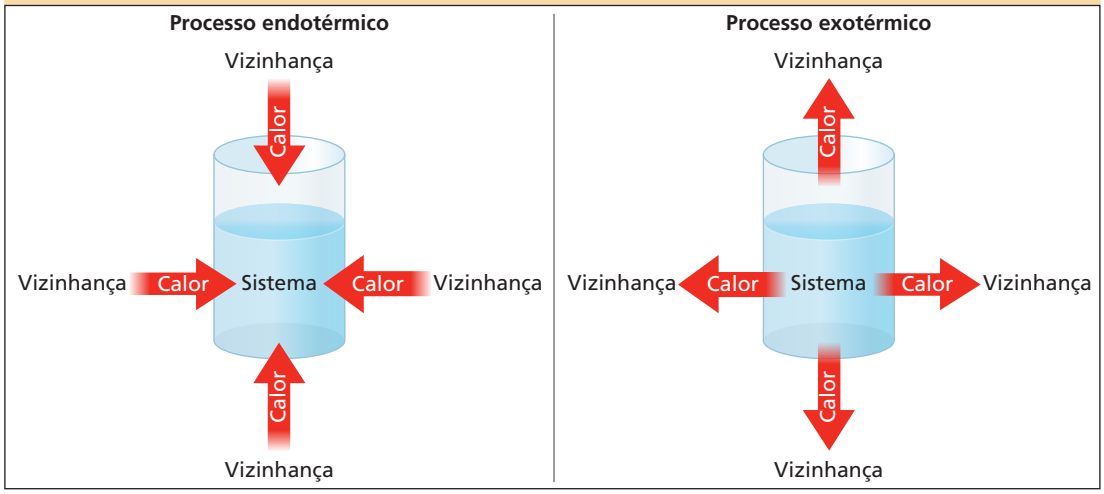
Processos de transferência de energia térmica

Para estudar as transferências de energia na forma de calor, é necessário delimitar o objeto de interesse, ou seja, o **sistema** ao qual estamos nos referindo. Nesse cenário, tudo o que estiver em contato direto com o sistema será considerado **vizinhança**.

Quando ocorre a transferência de energia térmica da vizinhança para o sistema, dizemos que se trata de um **processo endotérmico**. Já quando a energia térmica é transferida do sistema para a vizinhança, dizemos que se trata de um **processo exotérmico**.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Representação esquemática dos conceitos de sistema, fluxo de calor e vizinhança



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em EBBING, D. D.; GAMMON, S. D. **General Chemistry**. 9th ed. Boston: Houghton Mifflin Company, 2009.

O processo endotérmico absorve calor das vizinhanças, enquanto o exotérmico libera calor para essas vizinhanças.

A energia transferida que leva à mudança de temperatura de um corpo ou de um sistema, sem que ocorra mudança de estado físico, é denominada **calor sensível**. Já a transferência de energia que promove a mudança de estado de uma substância, mas não altera sua temperatura, recebe o nome de **calor latente**.

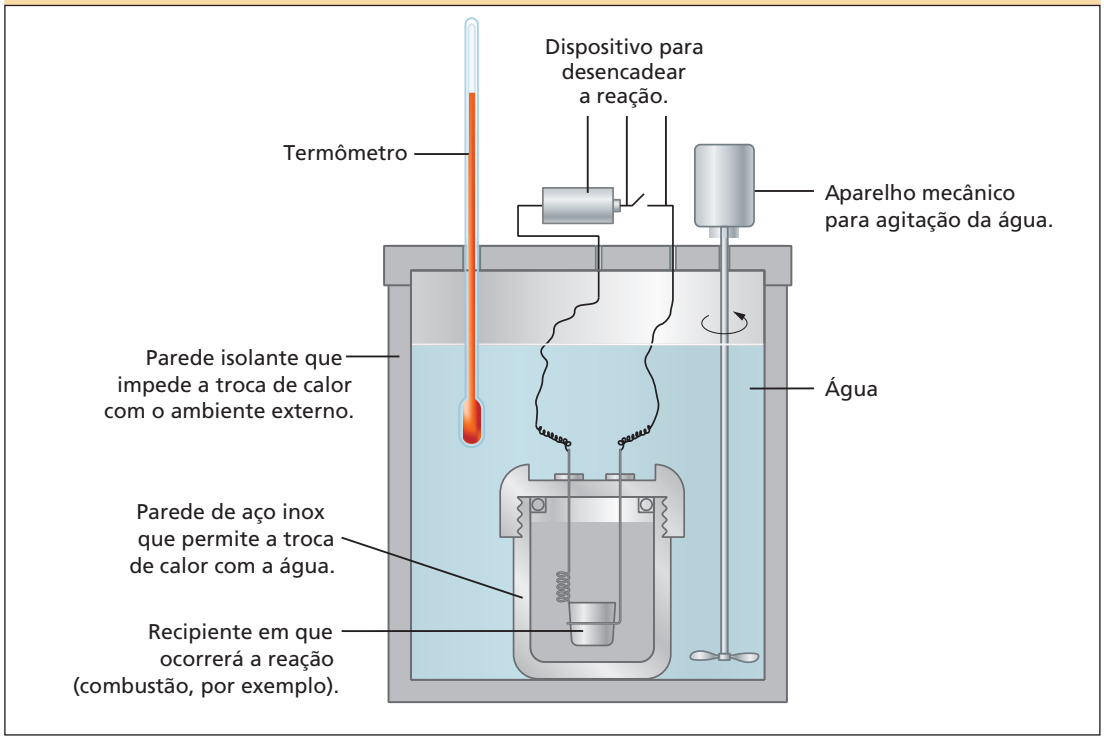
Quantidade de calor

No SI, a quantidade de calor é medida em **joule** (**J**), mas também é comum o uso da unidade **caloria** (**cal**), que apresenta a seguinte relação com o joule: 1 cal = 4,184 J. Uma caloria (1 cal) pode ser definida como a quantidade de calor necessária para elevar a temperatura de 1 g de água de 14,5 °C a 15,5 °C.

O **calorímetro** é o equipamento utilizado para isolar termicamente um sistema e realizar medidas quantitativas de energia. Ele permite monitorar as transferências de energia térmica por meio das alterações de temperatura provocadas por essas transferências. Existem diversos tipos de calorímetro; o exemplo representado na imagem a seguir é denominado **calorímetro de bomba**.

Para que a variação da temperatura medida seja corretamente interpretada, é necessário que o calorímetro tenha sido previamente calibrado.

Representação de um calorímetro



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em BROWN, T. L. *et al*. **Química**: a Ciência central. Tradução: Eloiza Lopes, Tiago Jonas e Sonia M. Yamamoto. 13. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2016.

Esquema em corte transversal mostrando o funcionamento de um calorímetro de bomba. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Nesse tipo de calorímetro, a água tem sua temperatura alterada em razão das transferências de energia ocorridas ao longo do processo que está sendo estudado. Assim, parte do calor envolvido nas transformações pode ser calculada utilizando a **equação fundamental da calorimetria**:

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T$$

em que:

Q = quantidade de calor envolvida

m = massa de água

c_p = capacidade calorífica específica da água à pressão constante

ΔT = variação de temperatura da água

A **capacidade calorífica específica**, ou **calor específico**, é uma propriedade que se relaciona com a capacidade de alguns materiais esfriarem ou esquentarem mais facilmente do que outros, considerando-se igual quantidade de energia transferida entre sistema e vizinhança. A unidade de medida para essa propriedade é J g^{-1} $°C^{-1}$. Para o cálculo da quantidade de calor (Q), também é possível utilizar a **capacidade calorífica molar**, propriedade medida em J mol^{-1} K^{-1}.

Em geral, as capacidades caloríficas dependem da temperatura e diminuem à medida que essa diminui. No entanto, em pequenas variações de temperatura, a variação na capacidade calorífica pode ser admitida como nula em cálculos aproximados.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

1. Considere os processos apresentados a seguir e classifique-os em endotérmicos ou exotérmicos, justificando suas escolhas.

a. O cozimento de alimentos.

b. A evaporação do álcool etílico.

c. A queima da gasolina.

d. A explosão de fogos de artifício.

2. Uma estudante, durante seu projeto de pesquisa, necessitava efetuar a medida da quantidade de energia liberada na forma de calor em determinada reação. Então, ela executou o seguinte experimento: na câmara de reação de um calorímetro, adicionou uma mistura de 0,080 g do gás *A* e 0,640 g do gás *B*, iniciando a reação entre os gases por meio de uma faísca. O meio envoltório continha 1.000 g de água. Sabendo que a temperatura inicial da água era de 20,0 °C e, ao final do experimento, passou a ser de 22,7 °C, a estudante calculou a quantidade de energia transferida para a água por mol de gás *A*. Qual foi o resultado obtido por ela?

Admita que toda a quantidade de energia liberada pela reação tenha sido absorvida pela água.

Dados: calor específico da água = 1 cal g^{-1} $°C^{-1}$; massa molar do gás A = 2 g mol^{-1} .

3. O gás natural é formado majoritariamente por metano (CH_4). A combustão desse gás com gás oxigênio forma gás carbônico e vapor de água, sendo que 1 mol de metano reagente libera 208 kcal. Qual é a quantidade de energia liberada na queima de 1 grama de metano? Consulte a tabela periódica ao final do volume para obter os dados das massas atômicas dos elementos carbono e hidrogênio.

Entalpia

A Termodinâmica é a ciência relacionada ao estudo das transformações e transferências de energia. De acordo com a primeira lei da Termodinâmica, a energia no Universo é constante, ou seja, ela não pode ser criada nem destruída. Em outras palavras, a energia é conservada em um sistema isolado durante as transformações químicas ou físicas. Nesse contexto, a **entalpia** (***H***) é definida como uma função matemática relacionada à quantidade de energia de um sistema disponível na forma de calor à pressão constante.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A **variação de entalpia** (ΔH) das reações e das mudanças de estado físico é numericamente igual à quantidade de energia térmica transferida nessas transformações à pressão constante. Essa variação é obtida da diferença entre a entalpia final (H_f) e a entalpia inicial (H_i) do sistema:

$$\Delta H = H_f - H_i$$

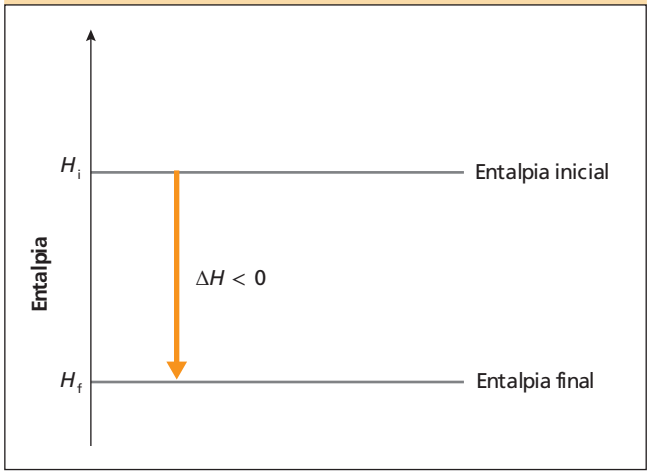
Nos processos exotérmicos, a entalpia inicial do sistema é sempre maior que a final ($H_i > H_f$), uma vez que, durante a transformação, ocorre transferência de energia do sistema para a vizinhança. Como consequência, a variação de entalpia em processos exotérmicos sempre será um valor negativo ($\Delta H < 0$). Esses processos costumam ser representados por meio de diagramas.

Isso é o que ocorre, por exemplo, em uma reação de combustão, processo no qual a queima de um combustível, como o carvão, libera energia, que é transferida para a vizinhança.

Já nos processos endotérmicos ocorre o oposto: a entalpia inicial do sistema é menor que a final ($H_i < H_f$), uma vez que ocorre transferência de energia da vizinhança para o sistema ao longo do processo. Assim, a variação da entalpia nos processos endotérmicos sempre terá um valor positivo ($\Delta H > 0$). Os processos endotérmicos também costumam ser representados por meio de diagramas.

Um exemplo desse processo é quando a água passa da fase sólida para a líquida: inicialmente, o sistema formado pela água sólida apresenta uma entalpia menor do que o sistema formado pela água líquida, no final do processo, pois ocorre transferência de energia da vizinhança.

Diagrama de variação de entalpia em processos exotérmicos

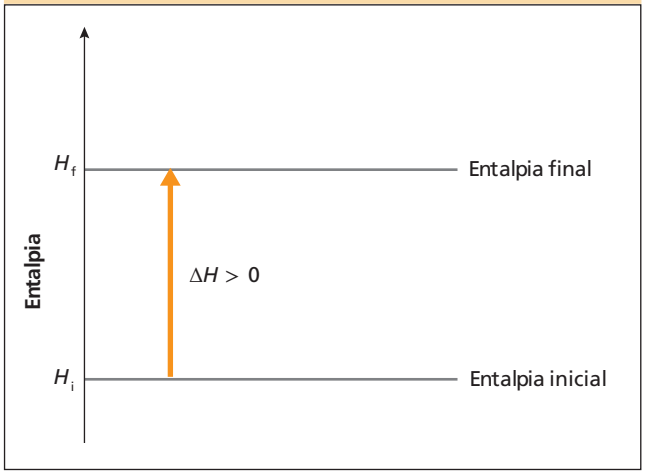


ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em MASTERTON, W. L. *et al*. **Chemistry**: Principles and Reactions. 8th ed. Cengage Learning, 2015.

Representação gráfica da variação de entalpia dos processos exotérmicos.

Diagrama de variação de entalpia em processos endotérmicos



ADILSON SECCO /ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em MASTERTON, W. L. *et al*. **Chemistry**: Principles and Reactions. 8th ed. Cengage Learning, 2015.

Representação gráfica da variação de entalpia dos processos endotérmicos.

Variação de entalpia nas reações químicas

A medida de variação de entalpia em reações químicas é aplicada na escolha de materiais para combustíveis, em projetos de instalações químicas e no estudo de processos bioquímicos essenciais para a manutenção da vida.

A utilização do gás hidrogênio (H_2) como combustível, por exemplo, está sendo pesquisada em vários países por causa dos benefícios ambientais envolvidos, uma vez que sua combustão gera apenas vapor de água como subproduto, e não gás carbônico, que intensifica o efeito estufa. A combustão de 1 mol de gás hidrogênio, a 25 °C e 1 bar (1 bar = 100 kPa ≃ 0,99 atm), libera 241,8 kJ.

$$1\ H_2(g) + \frac{1}{2}\ O_2(g) \rightarrow 1\ H_2O(g) \qquad \Delta H_r = -241{,}8\ kJ\ (a\ 25°C\ e\ 1\ bar)$$

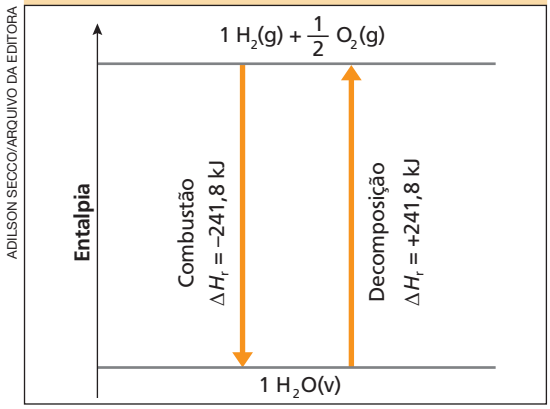
Essa equação química, que mostra a variação da entalpia da reação (representada por ΔH_r) associada à pressão e à temperatura específicas, é denominada **equação termoquímica**.

De acordo com a simbologia determinada pela IUPAC para a variação de entalpia, a transformação química ou física é indicada de modo subscrito entre o Δ e o H, como em $\Delta_r H$. Entretanto, vamos utilizar a simbologia ΔH_r por facilitar a correlação lógica com o português: variação (Δ), de entalpia (H), da reação (r).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A seguir, apresentamos o diagrama de entalpia da reação de combustão de 1 mol de gás hidrogênio. O processo inverso, e à mesma temperatura, de decomposição de 1 mol de água em fase vapor em gás hidrogênio e gás oxigênio também está representado.

Diagrama de variação de entalpia (25 °C, 1 bar) em $1\ H_2(g) + \frac{1}{2}\ O_2(g) \rightleftarrows 1\ H_2O(v)$



Fonte: LIDE, D. R. **CRC Handbook of Chemistry and Physics**. 90th ed. Boca Raton: CRC Press; Taylor and Francis, 2010.

Representação gráfica da combustão de gás hidrogênio e decomposição de vapor de água a 25 °C e 1 bar.

Conforme representamos no gráfico, a reação inversa da combustão do gás hidrogênio, nas mesmas condições, apresenta o mesmo valor absoluto de entalpia, mas com sinal oposto.

No caso anterior, a variação de entalpia é o resultado da combustão de 1 mol de gás hidrogênio. Se forem empregados 2 mol de gás hidrogênio, a variação de entalpia também será o dobro:

$$2\ H_2(g) + 1\ O_2(g) \rightarrow 2\ H_2O(v) \qquad \Delta H_r = -483{,}6\ kJ$$

Isso significa que a energia envolvida em uma reação é proporcional à quantidade de substância presente nessa reação.

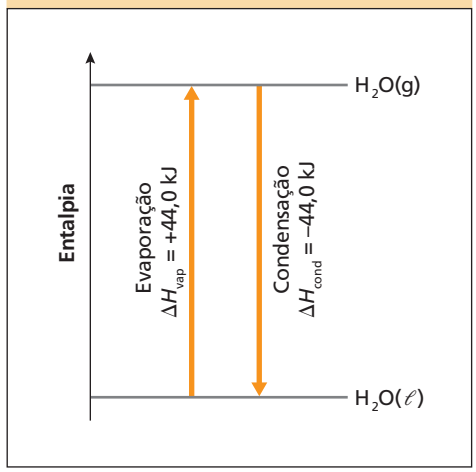
Outros fenômenos que apresentam variação de entalpia

Quando as mudanças de fase ocorrem à pressão constante, a transferência de energia que acompanha o processo é igual à variação de entalpia da substância. Por exemplo, determinou-se experimentalmente que a quantidade de energia transferida da vizinhança para a evaporação de 1 mol de água a 25 °C é 44,0 kJ. O processo inverso à evaporação é a condensação, que, para 1 mol de água a 25 °C, envolve a transferência de 44,0 kJ do sistema para a vizinhança, ou seja, o sistema libera 44,0 kJ. É possível perceber que os valores absolutos da variação de entalpia nos dois processos, com a mesma temperatura e à pressão constante, são os mesmos, apenas o sinal é oposto.

Já a fusão de 1 mol de água a 0 °C absorve 6,0 kJ de energia, enquanto o processo inverso, a solidificação da água a 0 °C, libera 6,0 kJ de energia. Ou seja:

$$H_2O(s) \rightarrow H_2O(\ell) \qquad \Delta H_{fus} = +6{,}0\ kJ$$
$$H_2O(\ell) \rightarrow H_2O(s) \qquad \Delta H_{solid} = -6{,}0\ kJ$$

Diagrama de variação de entalpia (25 °C, 1 bar) em $H_2O(\ell) \rightleftarrows H_2O(v)$



Fonte: LIDE, D. R. **CRC Handbook of Chemistry and Physics**. 90th ed. Boca Raton: CRC Press; Taylor and Francis, 2010.

Representação gráfica dos fenômenos de evaporação e condensação da água a 25 °C e 1 bar.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

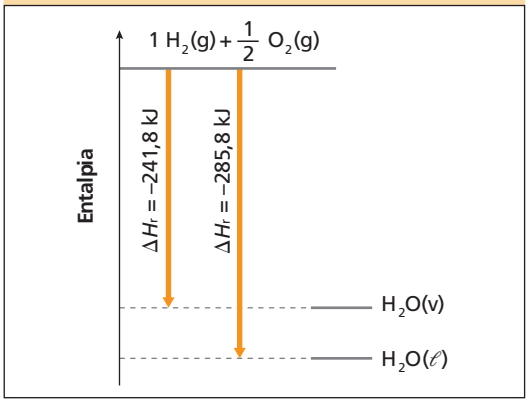
A mudança no estado de uma ou mais espécies químicas altera o valor de ΔH_r da reação. Isso ocorre porque, como citamos anteriormente, durante as mudanças de fase as substâncias absorvem ou liberam energia, resultando em uma mudança no valor de ΔH_r da reação da qual essa substância participa. A seguir, apresentamos variações de entalpia das reações de combustão a 25 °C e 1 bar.

$$1\ H_2(g) + \frac{1}{2}\ O_2(g) \rightarrow 1\ H_2O(\ell) \qquad \Delta H_r = -285{,}8\ kJ$$

$$1\ H_2(g) + \frac{1}{2}\ O_2(g) \rightarrow 1\ H_2O(v) \qquad \Delta H_r = -241{,}8\ kJ$$

O diagrama de entalpia representa os processos descritos. Note que, nas mesmas condições de temperatura e pressão, a diferença entre a energia transferida na reação que produz 1 mol de água líquida (–285,8 kJ) e na produção de 1 mol de água gasosa (–241,8 kJ) é igual à energia transferida na passagem de 1 mol de água fase vapor para a fase líquida (–44,0 kJ). Essas e outras interpretações dos diagramas de entalpia e das equações termoquímicas são utilizadas para calcularmos a variação de entalpia de sistemas mais complexos, como estudaremos nos próximos tópicos.

Diagrama de variação de entalpia (25 °C, 1 bar) na formação da água



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: LIDE, D. R. **CRC Handbook of Chemistry and Physics**. 90th ed. Boca Raton: CRC Press; Taylor and Francis, 2010.

Representação gráfica das combustões de gás hidrogênio produzindo vapor de água, $H_2O(v)$, e água líquida, $H_2O(\ell)$, a 25 °C e 1 bar.

Além do estado de agregação, isto é, o estado físico, mudanças no arranjo dos átomos nas unidades estruturais podem apresentar variação de entalpia.

O diamante e a grafite, por exemplo, que serão representados por C(diam) e C(graf), respectivamente, são substâncias formadas por átomos do mesmo elemento químico, o carbono. Entretanto, a aparência e as propriedades de ambos é bastante diferente.

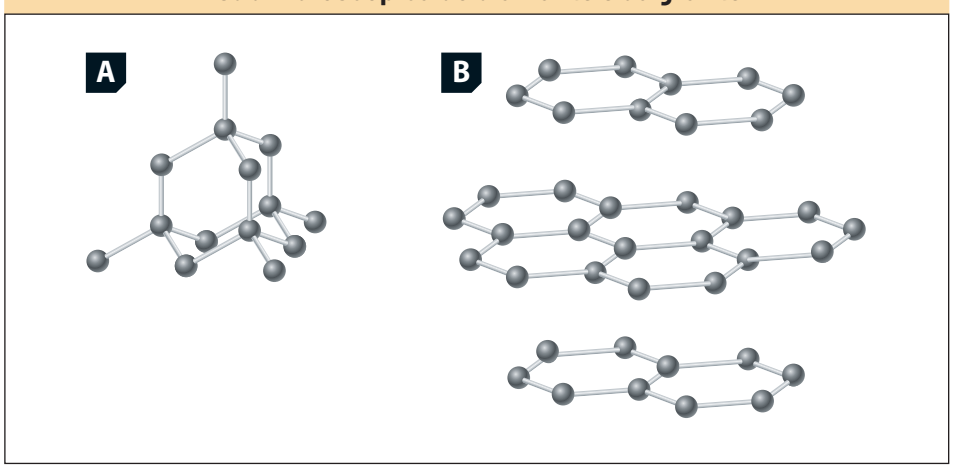
A razão pela qual isso ocorre é a forma como os átomos de carbono se ligam e formam as estruturas cristalinas do diamante e da grafite, como representado a seguir. Para a formação de grafite na natureza, as condições de pressão e de temperatura necessárias são muito mais brandas do que as necessárias para a formação do diamante, que exige muita compressão e temperatura elevada. A transformação de 1 mol de grafite em diamante absorve 1,9 kJ. Na natureza, essas condições estão presentes a uma profundidade de aproximadamente 150 quilômetros no interior do manto terrestre.

VIRGINIA MAYO/AP PHOTO/IMAGEPLUS

MIRONOV56/SHUTTERSTOCK

Os minerais diamante **(A)** e grafite **(B)** costumam ser encontrados na natureza associados a outros elementos químicos, como cálcio, silício e alguns metais.

Representação no modelo bola vareta da estrutura submicroscópica do diamante e da grafite



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática do arranjo cristalino do diamante **(A)** e da grafite **(B)**, duas variedades alotrópicas de ocorrência natural do elemento químico carbono. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

O fenômeno em que o mesmo elemento químico forma substâncias simples diferentes é denominado **alotropia**. O oxigênio, por exemplo, apresenta duas formas alotrópicas: o gás oxigênio (O_2) e o gás ozônio (O_3).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADE COMENTADA

Escreva a equação termoquímica da reação que ocorre entre grafite, C(graf), e gás hidrogênio, $H_2(g)$, formando acetileno, $C_2H_2(g)$, e envolvendo a absorção de 54 kcal para cada mol de gás formado.

Analisar o enunciado

O enunciado descreve a ocorrência de uma reação entre grafite e gás hidrogênio. Logo, esses são os reagentes. Em seguida, o enunciado informa que há formação de acetileno; portanto, esse é o produto da reação.

Selecionar as informações relevantes

- Reagentes da reação: C(graf) e $H_2(g)$
- Produto da reação: $C_2H_2(g)$
- Quantidade de energia envolvida nessa transformação química: absorção de 54 kcal/mol de $C_2H_2(g)$

Aplicar o conceito estudado

Agora que já identificamos os reagentes e o produto envolvidos nessa reação química, vamos escrever a primeira versão da equação química e verificar se ela está balanceada.

$$C(graf) + H_2(g) \rightarrow C_2H_2(g)$$

Ao analisar as quantidades de átomos nos reagentes e nos produtos, verifica-se que a quantidade de átomos de carbono não está correta. O balanceamento pode ser realizado a partir da adição do coeficiente 2 à frente da fórmula que representa a grafite.

$$2\ C(graf) + H_2(g) \rightarrow C_2H_2(g)$$

Segundo o enunciado, a reação de produção do acetileno absorve 54 kcal para cada mol de gás formado. Sabendo que a absorção de energia é representada por uma variação de entalpia positiva (+) e como apenas 1 mol de gás é formado, então a equação termoquímica completa será:

$$2\ C(graf) + H_2(g) \rightarrow C_2H_2(g) \qquad \Delta H_r = +54\ kcal/mol$$

Verificar a solução

Para verificar se a resposta encontrada é razoável, podemos perceber que, na equação proposta, a fórmula do gás acetileno aparece nos produtos. Além disso, por ser uma reação endotérmica, a variação de entalpia é positiva.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

4. Escreva as equações termoquímicas das reações, ocorridas à pressão constante, descritas a seguir, informando a variação de entalpia (ΔH) com o sinal adequado.

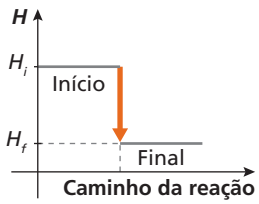
a. A síntese de 2 mol de gás amônia (NH_3) a partir dos gases nitrogênio (N_2) e hidrogênio (H_2) libera 92 kJ de energia.

b. A absorção de 180 kJ por 1 mol de carbonato de cálcio sólido ($CaCO_3$) gera sua decomposição em óxido de cálcio sólido (CaO) e gás dióxido de carbono (CO_2).

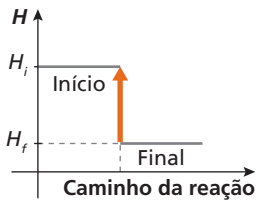
c. A reação de combustão completa de 1 mol de gás butano (C_4H_{10}) gera o gás dióxido de carbono (CO_2) e água líquida e libera 2.878 kJ.

5. Indique qual gráfico representa uma reação em que reagentes se transformam em produtos em um processo endotérmico. 5. Alternativa **d**.

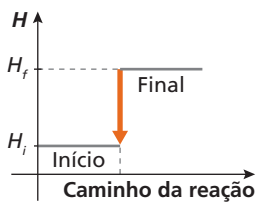
a.



c.



b.



d.

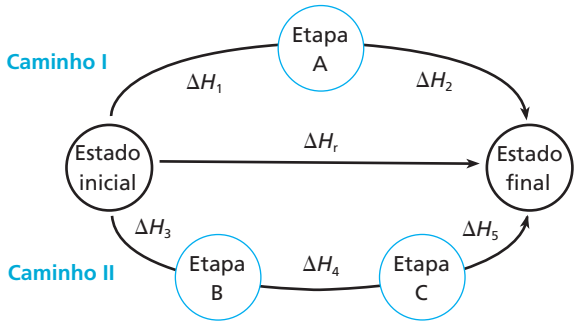
ILUSTRAÇÕES: ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Lei de Hess e entalpia-padrão

No século XIX, em meio aos esforços para construir um modelo teórico que explicasse os processos envolvidos na produção de energia pelas máquinas a vapor, o médico e químico suíço Germain Henri Hess (1802-1850) demonstrou que a entalpia de uma transformação não depende do caminho pelo qual ela se processa, mas dos estados inicial e final do sistema.

Repare no esquema a seguir, em que a variação de entalpia da reação correspondente ao processo: estado inicial → estado final, ΔH_r, é dada por $\Delta H_1 + \Delta H_2$ (caminho I) ou $\Delta H_3 + \Delta H_4 + \Delta H_5$ (caminho II). Para qualquer um dos casos, o valor de ΔH_r é o mesmo.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Esquema representativo de dois caminhos possíveis para a obtenção de produtos da reação.

Assim, em uma transformação que se processa em diversas etapas e em que os estados inicial e final são idênticos, o valor de ΔH é dado pela soma das variações de entalpia das etapas individuais e não depende do caminho pelo qual a transformação se processa. Essa lei ficou conhecida como **lei de Hess**.

Para exemplificar, examinemos a reação de combustão do carbono na forma de grafite, em estado sólido, representado por C(graf), com formação de dióxido de carbono:

$$C(graf) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$$

Vamos considerar que essa reação acontece em duas etapas. A primeira é a produção de monóxido de carbono, a 25 °C e 1 bar, e a segunda é a produção de dióxido de carbono a partir do monóxido de carbono, nas mesmas condições descritas.

$$C(graf) + O_2(g) \rightarrow CO(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \qquad \Delta H_1 = -110{,}5\ kJ$$

$$CO(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow CO_2(g) \qquad \Delta H_2 = -283{,}0\ kJ$$

Esse processo, que ocorre em duas etapas, é exemplo de uma sequência de reações cujos produtos de uma reação são reagentes da outra. Nas mesmas condições de temperatura e pressão, a equação química da reação global é a soma das equações das etapas intermediárias:

$$C(graf) + O_2(g) \longrightarrow \cancel{CO(g)} + \cancel{\frac{1}{2}O_2(g)} \qquad \Delta H_1 = -110{,}5\ kJ$$

$$\cancel{CO(g)} + \cancel{\frac{1}{2}O_2(g)} \longrightarrow CO_2(g) \qquad \Delta H_2 = -283{,}0\ kJ$$

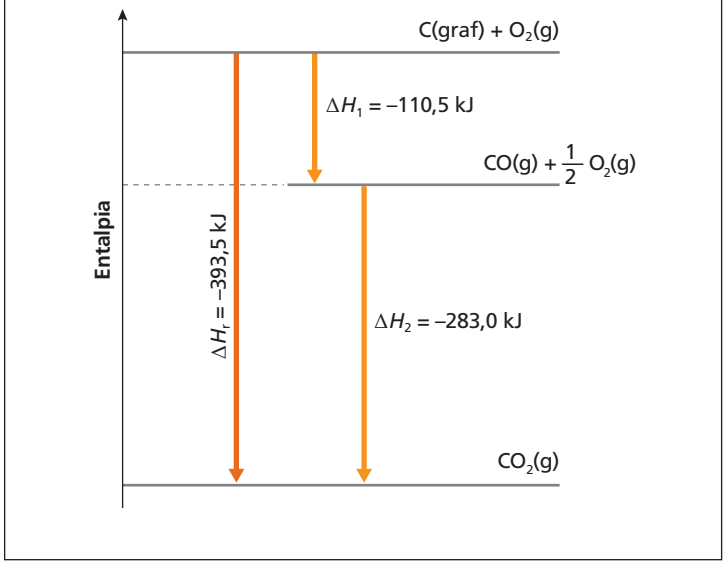
$$C(graf) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) \qquad \Delta H_r = -393{,}5\ kJ$$

O cálculo para a variação de entalpia por meio da lei de Hess aplica-se a todas as transformações químicas e físicas. Essa lei possibilita a previsão sobre os aspectos energéticos das reações, incluindo reações difíceis ou impossíveis de serem realizadas em laboratório. Sua aplicação também permite que um número relativamente pequeno de medidas experimentais seja necessário para calcular o valor de ΔH_r de diversas reações.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Analise o diagrama de entalpia da reação de combustão de 1 mol de grafite realizada em uma e em duas etapas.

Diagrama de variação de entalpia da combustão da grafite



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em LIDE, D. R. **CRC Handbook of Chemistry and Physics**. 90th ed. Boca Raton: CRC Press; Taylor and Francis, 2010.

Representação gráfica das diferentes combustões da grafite a 25 °C e 1 bar.

Note que, com a soma das reações intermediárias, a quantidade de calor liberada pela combustão de 1 mol de C(graf) não depende do número de etapas em que a reação acontece.

Entalpia-padrão

A temperatura não faz parte da definição de estado-padrão; porém, a maior parte dos dados termodinâmicos é registrada a 25 °C (298 K). Portanto, os valores de ΔH_r° apresentados nesta obra se referem a 298 K, a menos que outra temperatura seja indicada.

Sabemos que a quantidade de calor liberado ou absorvido em uma reação química depende do estado de agregação dos reagentes e dos produtos, incluindo as condições de temperatura e de pressão. O **estado-padrão** de uma substância refere-se a sua forma pura à pressão de 1 bar, ou concentração de 1 mol L^{-1}, quando se refere a uma substância em solução. O mesmo raciocínio pode ser usado na variação de entalpia; logo, a variação de **entalpia-padrão** (ΔH°) de uma reação é a variação de entalpia quando todos reagentes e produtos estão em seu estado-padrão à pressão de 1 bar.

A **entalpia-padrão de formação** de um composto, ΔH_f°, é a variação de entalpia da reação que forma 1 mol de composto a partir de substâncias simples, todas em seu estado-padrão e sob pressão de 1 bar. A entalpia-padrão de formação é expressa em kJ mol^{-1} e deve indicar a substância formada e seu estado de agregação. Se a substância simples existir em mais de uma forma sob condições-padrão, a mais estável será utilizada para representar a reação.

Utilizaremos a formação da glicose como exemplo:

$$6\ C(graf) + 6\ H_2(g) + 3\ O_2(g) \rightarrow C_6H_{12}O_6(s) \qquad \Delta H_f^\circ = -1.268\ kJ\ mol^{-1}$$

Os valores da variação de entalpia-padrão de formação referem-se à substância formada, ou seja, a reação representada anteriormente libera 1.268 kJ por mol de glicose produzida em estado sólido.

Por definição, o valor de variação de entalpia de formação da variedade alotrópica mais estável de qualquer substância simples é igual a zero em todas as temperaturas. Ou seja, os valores de ΔH_f° relativos a C(graf), $H_2(g)$ e $O_2(g)$ são, por definição, iguais a zero, assim como os de outras substâncias simples em sua forma mais estável e em seu estado-padrão. Alguns valores de entalpia de formação para diferentes compostos são apresentados na tabela a seguir.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Entalpia-padrão de formação de alguns compostos (25 °C, 1 bar)

Substância	Fórmula	ΔH_f° (kJ mol^{-1})
Amônia	$NH_3(g)$	–45,9
Monóxido de carbono	$CO(g)$	–110,5
Água	$H_2O(\ell)$	–285,8
Água	$H_2O(v)$	–241,8
Dióxido de carbono	$CO_2(g)$	–393,5
Carbono (diamante)	C(diam)	+1,9
Dióxido de nitrogênio	$NO_2(g)$	+33,2
Eteno	$C_2H_4(g)$	+52,4
Monóxido de nitrogênio	NO(g)	+91,3

Fonte: LIDE, D. R. **CRC Handbook of Chemistry and Physics**. 90th ed. Boca Raton: CRC Press; Taylor and Francis, 2010.

Valores aproximados das entalpias de formação de algumas substâncias.

Se julgar conveniente, comente com os estudantes que a exceção é o fósforo, cujo estado de referência é o fósforo branco. Embora essa não seja a variedade alotrópica mais estável, ela é a mais reprodutível e fácil de se obter.

A **entalpia-padrão de combustão** de um composto, ΔH_c°, é a variação de entalpia da reação de combustão completa de 1 mol de composto em seu estado-padrão. Os produtos da combustão completa de compostos orgânicos são o gás dióxido de carbono e a água, se eles contiverem apenas átomos dos elementos químicos carbono, hidrogênio e oxigênio. A seguir temos o valor de ΔH_c°, a 25 °C, da glicose ($C_6H_{12}O_6$):

$$C_6H_{12}O_6(s) + 6\ O_2(g) \rightarrow 6\ CO_2(g) + 6\ H_2O(\ell) \qquad \Delta H_c^\circ = -2.807{,}8\ \text{kJ mol}^{-1}$$

Os valores das entalpias-padrão de combustão dos compostos permitem compará-los de acordo com a quantidade de energia que cada unidade de massa, ou de volume, de combustível libera nessa reação. Essa medida de comparação é conhecida como **poder calorífico**. O poder calorífico médio de glicídios e proteínas é 17 kJ g^{-1}, e o de lipídios, 38 kJ g^{-1}.

Aplicações das entalpias-padrão e da lei de Hess

Há uma grande quantidade de valores de ΔH_f° e de ΔH_c° tabelados em obras de referência. Esses valores são utilizados com frequência em conjunto com a lei de Hess para determinar a variação de entalpia de outras reações. Esse cálculo pode ser feito de diferentes formas, como será demonstrado para a reação de formação da sacarose ($C_{12}H_{22}O_{11}$), principal constituinte do açúcar refinado.

$$12\ C(\text{graf}) + 11\ H_2(g) + \frac{11}{2}\ O_2(g) \rightarrow C_{12}H_{22}O_{11}(s) \qquad \Delta H_f^\circ = ?$$

Primeiro, listam-se os valores disponíveis de variação de entalpia de formação das substâncias, considerando os estados de agregação:

$$C_{12}H_{22}O_{11}(s) + 12\ O_2(g) \rightarrow 12\ CO_2(\text{graf}) + 11\ H_2O(\ell) \qquad \Delta H_c^\circ = -5.645\ \text{kJ mol}^{-1}$$

$$C(\text{graf}) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g) \qquad \Delta H_f^\circ = -393{,}5\ \text{kJ mol}^{-1}$$

$$H_2(g) + \frac{1}{2}\ O_2(g) \rightarrow H_2O(\ell) \qquad \Delta H_f^\circ = -285{,}8\ \text{kJ mol}^{-1}$$

As variações de entalpia de formação do gás oxigênio, do gás hidrogênio e da grafite, por definição, são iguais a zero; por esse motivo, elas não foram relacionadas. Para o cálculo da variação de entalpia de reação, vamos utilizar a expressão:

$$\Delta H_r^\circ = \Sigma n \Delta H_f^\circ(\text{produtos}) - \Sigma n \Delta H_f^\circ(\text{reagentes})$$

em que $\Sigma n \Delta H_f^\circ$ (produtos) e $\Sigma n \Delta H_f^\circ$ (reagentes) representam a soma das entalpias-padrão de formação de cada substância (ΔH_f°) nos reagentes e produtos, respectivamente, considerando a quantidade de substância (n) de cada substância envolvida.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Passo 1:

$$\Sigma n\Delta H_f^\circ(\text{produtos}) = [12\ \text{mol} \cdot \Delta H_f^\circ(CO_2, g)] + [11\ \text{mol} \cdot \Delta H_f^\circ(H_2O, \ell)]$$

$$\Sigma n\Delta H_f^\circ(\text{produtos}) = \left[12\ \text{mol} \cdot \left(\frac{-393{,}5\ \text{kJ}}{\text{mol}}\right)\right] + \left[11\ \text{mol} \cdot \left(\frac{-285{,}8\ \text{kJ}}{\text{mol}}\right)\right]$$

$$\Sigma n\Delta H_f^\circ(\text{produtos}) = -4.722\ \text{kJ} + (-3.143{,}8\ \text{kJ})$$

$$\Sigma n\Delta H_f^\circ(\text{produtos}) = -7.865{,}8\ \text{kJ}$$

Passo 2:

$$\Sigma n\Delta H_f^\circ(\text{reagentes}) = 1\ \text{mol} \cdot \Delta H_f^\circ(C_{12}H_{22}O_{11}, s) + 12\ \text{mol} \cdot \Delta H_f^\circ(O_2, g)$$

$$\Sigma n\Delta H_f^\circ\ (\text{reagentes}) = 1\ \text{mol} \cdot \Delta H_f^\circ(C_{12}H_{22}O_{11}, s)$$

$$\Sigma n\Delta H_f^\circ\ (\text{reagentes}) = \Delta H_f^\circ(C_{12}H_{22}O_{11}, s) \cdot \text{mol}$$

Passo 3:

$$\Delta H_r^\circ = \Sigma n\Delta H_f^\circ\ (\text{produtos}) - \Sigma n\Delta H_f^\circ\ (\text{reagentes})$$

$$1\ \text{mol} \cdot (-5.645\ \text{kJ mol}^{-1}) = -7.865{,}8\ \text{kJ} - \Delta H_f^\circ(C_{12}H_{22}O_{11}, s) \cdot \text{mol}$$

$$\Delta H_f^\circ(C_{12}H_{22}O_{11}, s) \cdot \text{mol} = -7.865{,}8\ \text{kJ} + 5.645\ \text{kJ}$$

$$\Delta H_f^\circ(C_{12}H_{22}O_{11}, s) = -2.220{,}8\ \text{kJ mol}^{-1}$$

Já no exemplo da reação de combustão da glicose ($C_6H_{12}O_6$, s), utilizamos outro método para o cálculo de ΔH_c°, com base nos valores de ΔH_f°:

$$C_6H_{12}O_6(s) + 6\ O_2(g) \rightarrow 6\ CO_2(g) + 6\ H_2O(\ell) \qquad \Delta H_c^\circ = ?$$

Sendo conhecidos os seguintes valores de ΔH_f°, temos:

$$6\ C(\text{graf}) + 6\ H_2(g) + 3\ O_2(g) \rightarrow C_6H_{12}O_6(s) \qquad \Delta H_f^\circ = -1.268\ \text{kJ mol}^{-1}$$

$$C(\text{graf}) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g) \qquad \Delta H_f^\circ = -393{,}5\ \text{kJ mol}^{-1}$$

$$H_2(g) + \frac{1}{2}\ O_2(g) \rightarrow H_2O(\ell) \qquad \Delta H_f^\circ = -285{,}8\ \text{kJ mol}^{-1}$$

Empregando a lei de Hess, invertemos a primeira equação e multiplicamos a segunda e a terceira por 6. Obtemos, pela soma das equações parciais, a equação global que representa a combustão da glicose:

$$\begin{array}{rcll} C_6H_{12}O_6(s) & \longrightarrow & 6\ C(\text{graf}) + 6\ H_2(g) + 3\ O_2(g) & \Delta H_1 = +1.268\ \text{kJ} \\ 6\ C(\text{graf}) + 6\ O_2(g) & \longrightarrow & 6\ CO_2(g) & \Delta H_2 = -2.361\ \text{kJ} \\ 6\ H_2(g) + 3\ O_2(g) & \longrightarrow & 6\ H_2O(\ell) & \Delta H_3 = -1.714{,}8\ \text{kJ} \\ \hline C_6H_{12}O_6(s) + 6\ O_2(g) & \longrightarrow & 6\ CO_2(g) + 6\ H_2O(\ell) & \Delta H_c = ? \end{array}$$

$$\Delta H_c = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3$$

$$\Delta H_c = (1.268\ \text{kJ}) + (-2.361\ \text{kJ}) + (-1.714{,}8\ \text{kJ})$$

$$\Delta H_c = -2.807{,}8\ \text{kJ}$$

O valor calculado é referente a 1 mol de glicose no estado-padrão; logo, esse valor pode ser representado da seguinte forma:

$$\Delta H_c^\circ(C_6H_{12}O_6, s) = -2.807{,}8\ \text{kJ mol}^{-1}$$

Antes de aplicar a lei de Hess na determinação das variações de entalpia, é necessário avaliar os dados disponíveis para escolher a melhor estratégia de resolução.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Registre em seu caderno

NA PRÁTICA Explorando a lei de Hess com algoritmos

A lei de Hess afirma que a variação de entalpia total de uma reação química é a soma das variações de entalpia das etapas individuais que compõem a reação, mesmo que essas etapas sejam teóricas.

Em grupos, nesta atividade, vamos analisar um algoritmo que permite deduzir a equação global de um processo químico a partir das equações das etapas individuais e complementar esse conjunto de instruções para que o novo algoritmo permita resolver problemas envolvendo a Lei de Hess.

OBJETIVO

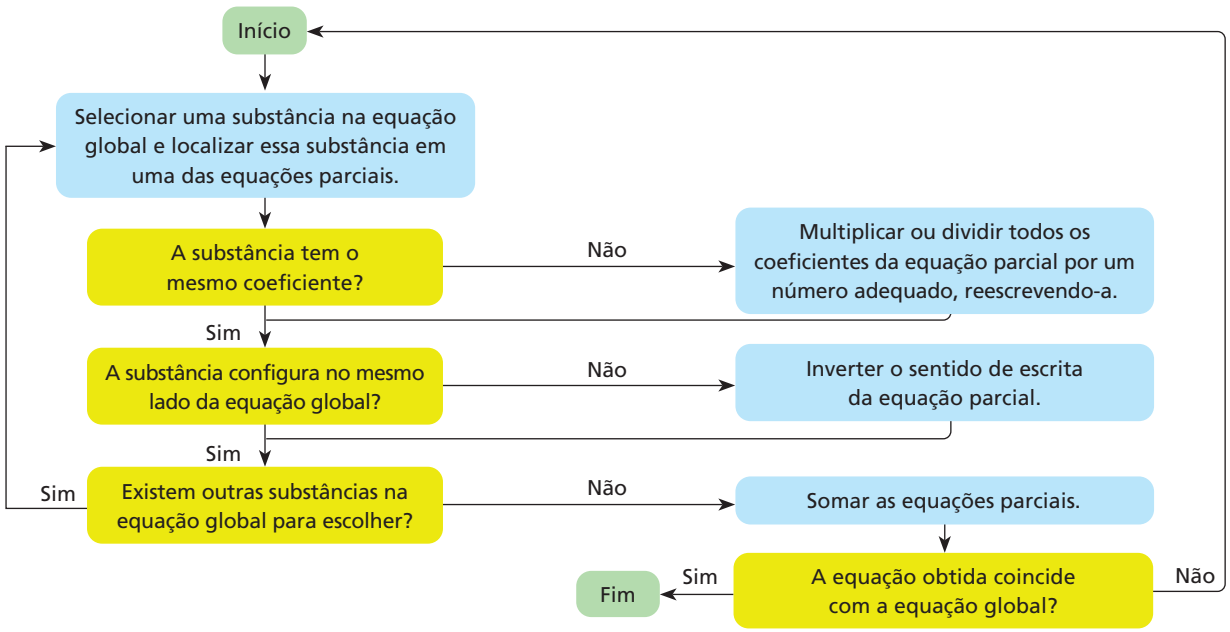
Desenvolver atitudes e habilidades relacionadas ao pensamento computacional ao analisar, testar e complementar um algoritmo.

MATERIAL

- Folha de papel, lápis e canetas coloridas.
- Cartolina, régua e tesoura.
- Opcional: computador para elaborar uma apresentação digital.

PROCEDIMENTO

- Em uma folha, transcrevam a equação química que representa a combustão completa da glicose ($C_6H_{12}O_6$) – equação global – e as equações químicas de formação da glicose, do dióxido de carbono (CO_2) e da água (H_2O) – equações parciais – indicadas na página anterior.
- Analisem o fluxograma a seguir que representa graficamente os passos de um algoritmo para dedução de equações globais a partir de equações parciais. Nessa representação, os blocos retangulares contêm as ações a serem executadas e os blocos em forma de losango são estruturas condicionais que, na linguagem de programação permitem que determinada ação seja executada dependendo do resultado – verdadeiro ou falso – de uma expressão lógica.
- Utilizem o algoritmo proposto para deduzir a equação global da combustão completa da glicose a partir das três equações parciais, de formação, transcritas na etapa 1.
- Proponham formas de complementar o fluxograma, incluindo instruções e/ou passos adicionais que considerem os valores de entalpia das equações parciais e possibilitem o cálculo do valor de ΔH para a equação global.
- Utilizando os materiais descritos no início dessa atividade construam um fluxograma para representar o algoritmo complementado.
- Compartilhem os algoritmos com toda a turma e discutam as diferentes abordagens e conclusões.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

1. Reescrevam as equações, global e parciais, substituindo as fórmulas químicas por letras: *A*, *B*, *C* etc.
2. Utilizem o algoritmo criado por você para analisar esse novo conjunto de equações. Quais informações são relevantes para solucionar uma situação-problema por meio da lei de Hess?
3. Quais ações indicadas no fluxograma representam padrões que permitem prever os resultados em situações-problema semelhantes?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Use os dados a seguir para resolver a atividade 6.

Entalpias de formação

Substância	Fórmula molecular e estado físico	ΔH_f (kJ mol^{-1})	ΔH_f (kcal mol^{-1})
Monóxido de carbono	$CO(g)$	–111	–26
Dióxido de carbono	$CO_2(g)$	–394	–94
Água	$H_2O(\ell)$	–286	–68
Etano	$C_2H_6(g)$	–84	–20
Propano	$C_3H_8(g)$	–105	–25
Acetileno	$C_2H_2(g)$	+227	+54

Fonte: KOTZ, J. C. *et al.* **Química geral e reações químicas**. Tradução: Noveritis do Brasil. Revisão técnica: Eduardo Codaro e Heloisa Acciari. 9. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2015. v. 2.

Valores aproximados das entalpias de formação de algumas substâncias.

6. O bico de Bunsen é o instrumento utilizado no laboratório como fonte de energia térmica para diversas finalidades, como aquecimento de soluções, fusão de sólidos, esterilização de objetos, entre outros. O combustível comumente usado é o GLP (gás liquefeito de petróleo), tendo como comburente o gás oxigênio presente no ar atmosférico. Esse equipamento tem uma válvula que regula a quantidade de ar injetada e, com isso, dois tipos de chama podem ser produzidos: uma amarela, devido à combustão incompleta, e uma azul, devido à combustão completa do GLP. Escreva as equações termoquímicas de combustão completa e incompleta do propano (C_3H_8), um dos componentes do GLP, indicando a energia na forma de calor envolvida em kcal/mol. Depois, compare a eficiência de produção de energia térmica pelos dois processos.

SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

A chama produzida pelo bico de Bunsen varia em cor (amarelo a azul) e temperatura (300 °C a 1.550 °C, aproximadamente).

7. A ureia, $CO(NH_2)_2$, é resultado do metabolismo das proteínas em alguns seres vivos. Atualmente, a substância é usada como fonte de nitrogênio e entra na composição de adubos e de algumas rações animais.

A ureia pode ser sintetizada a partir da reação da amônia com o gás carbônico:

$$2\ NH_3(g) + CO_2(g) \rightarrow CO(NH_2)_2(s) + H_2O(\ell)$$

Fazendo uso da lei de Hess, calcule a variação de entalpia dessa reação a partir das seguintes equações termoquímicas, a fim de estabelecer uma estimativa teórica da natureza endotérmica ou exotérmica da reação de síntese da ureia:

I. $N_2(g) + 3\ H_2(g) \rightarrow 2\ NH_3(g)$ $\quad \Delta H_r = -92$ kJ/mol

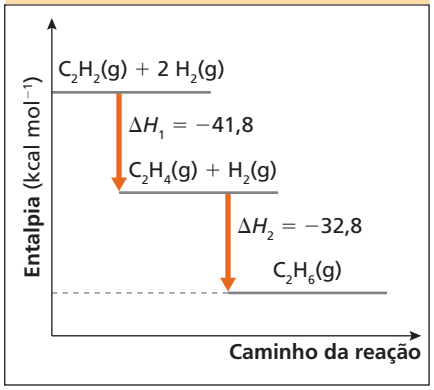
II. $H_2(g) + \frac{1}{2}\ O_2(g) \rightarrow H_2O(\ell)$ $\quad \Delta H_r = -286$ kJ/mol

III. $CO(NH_2)_2(s) + \frac{3}{2}\ O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2\ H_2O(\ell) + N_2(g)$ $\quad \Delta H_r = -632$ kJ/mol

8. Utilizando o respectivo diagrama, calcule a variação de entalpia da transformação representada pela equação química e determine se a reação é exotérmica ou endotérmica.

$$C_2H_2(g) + 2\ H_2(g) \rightarrow C_2H_6(g)$$

Diagrama de variação de entalpia
$C_2H_2(g) + 2\ H_2(g) \rightarrow C_2H_6(g)$

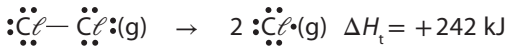


ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Entalpia de ligação química

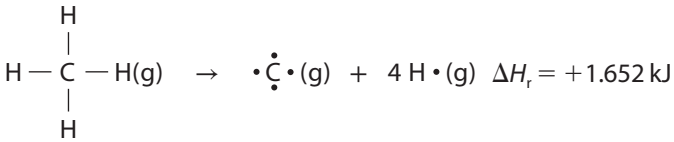
A **entalpia de ligação** (ΔH_{lig}) é a variação de entalpia associada ao rompimento de 1 mol de determinado tipo de ligação química de uma substância em estado gasoso à pressão constante. Por exemplo, a entalpia de ligação da molécula de $C\ell_2$ é a variação de entalpia quando, no estado gasoso, 1 mol de $C\ell_2$ é dissociado em átomos de cloro.



$$:\dot{C}\ell - \dot{C}\ell: (g) \rightarrow 2\ :\dot{C}\ell\bullet (g) \quad \Delta H_t = +242\ kJ$$

Portanto, ΔH_{lig} ($C\ell - C\ell$) = +242 kJ mol^{-1}.

Em relação às moléculas diatômicas, como o $C\ell_2$, o valor da entalpia de ligação é a energia necessária para romper 1 mol da ligação que existe nas moléculas. Entretanto, para moléculas poliatômicas, como o metano (CH_4), devemos utilizar a entalpia média das ligações. Repare no exemplo a seguir.



$$H - \underset{H}{\overset{H}{\overset{|}{\underset{|}{C}}}} - H (g) \rightarrow \bullet\dot{C}\bullet (g) + 4\ H\bullet (g) \quad \Delta H_r = +1.652\ kJ$$

O valor de ΔH no exemplo representa a energia necessária para romper 4 mol de ligações C — H; dessa forma, o valor da entalpia de ligação é igual ao valor de $\frac{\Delta H}{4}$. Portanto, ΔH_{lig} (C — H) = +413 kJ mol^{-1}.

Perceba que os valores de entalpia de ligação relacionados são positivos, pois, para romper ligações, sempre é necessário fornecer energia às moléculas. Contrariamente, a formação de ligações sempre envolve transferência de energia das moléculas para a vizinhança. Em outras palavras, o rompimento de uma ligação química é um processo endotérmico, enquanto a formação de uma ligação química é um processo exotérmico. A tabela a seguir apresenta alguns dados de energia de ligação que correspondem a valores médios de entalpias de ligação.

Entalpias de ligação

Ligação química	ΔH_{lig}	Ligação química	ΔH_{lig}	Ligação química	ΔH_{lig}
C — H	413	C — C	348	C — N	293
C — O	358	N — H	391	N — N	163
N — O	201	O — H	463	O — O	146
C — $C\ell$	328	F — H	567	I — I	151
H — H	436	H — $C\ell$	431	Si — H	323
Si — O	368	S — S	266	C = C	614
N = N	418	O = O	495	C = N	615
C = O	799	N = O	607	C ≡ C	839
C ≡ N	891	N ≡ N	941	C — F	485

Fonte: BROWN, T. L. *et al.* **Química**: a Ciência central. Tradução: Eloiza Lopez, Tiago Jonas e Sonia M. Yamamoto. 13. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2016.

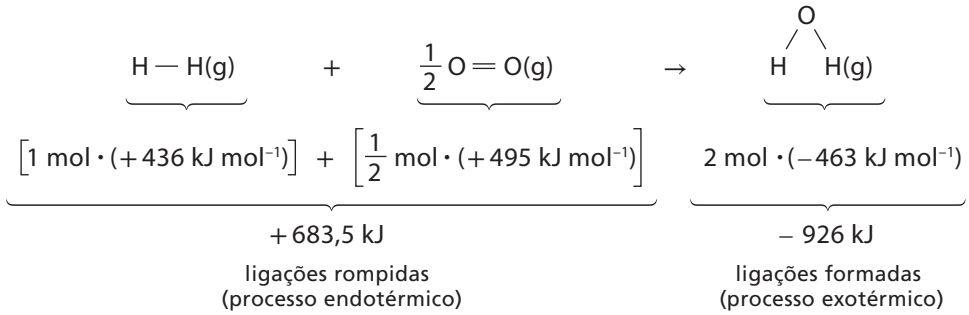
Valores experimentais das energias de ligação médias em kJ mol^{-1} (25 °C, 1 bar).

Aplicações da entalpia de ligação

Os dados apresentados na tabela anterior permitem estimar os valores das entalpias de reação. Esse cálculo aproximado possibilita determinar se uma reação é endotérmica ou exotérmica, empregando apenas o balanço energético das ligações rompidas e formadas. Para compreender como o

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

cálculo da variação de entalpia da reação pode ser feito, utilizando os valores médios de entalpia de ligação, vamos analisar novamente a equação química da reação de combustão do gás hidrogênio, um combustível de maior conteúdo energético que o etanol, por exemplo.



Utilizando o balanço energético, obtemos:

$\Delta H_r = \Sigma n\ \Delta H_{lig\ (rompidas)} + \Sigma n\ \Delta H_{lig\ (formadas)}$

$\Delta H_r = +683{,}5\ kJ + (-926\ kJ)$

$\Delta H_r = -242{,}5\ kJ$

O balanço energético do processo de rompimento e formação de ligações é frequentemente denominado **energia potencial química**. Note que essa energia só é utilizável quando as substâncias participam de reações químicas.

O uso das entalpias de ligação médias fornece o valor aproximado da variação de entalpia de uma reação, o que pode levar a pequenas discrepâncias. Como aprendemos anteriormente, essa reação libera 241,8 kJ, diferindo em 0,7 kJ do valor calculado a partir das energias de ligação.

Dessa forma, pelas energias de ligação podemos estimar, mesmo que de forma aproximada, o valor de entalpia de reação.

A Termoquímica e o metabolismo

A maior parte da energia de que nosso corpo precisa é obtida da ingestão de glicídios, lipídios e proteínas. No corpo, essas moléculas complexas são transformadas em moléculas mais simples, como CO_2, H_2O e NH_3, como o que foi observado na combustão da glicose. No entanto, no organismo humano, a obtenção de energia a partir da glicose não ocorre por meio de uma única reação, mas por etapas sucessivas, fracionando a liberação de energia e acoplando-a a outros processos celulares. O conjunto dessas transformações é denominado **catabolismo**, ou **reações catabólicas**. O caminho inverso, em que moléculas complexas, como as proteínas, são sintetizadas a partir de aminoácidos, é denominado **anabolismo**, ou **reações anabólicas**, e requer energia.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

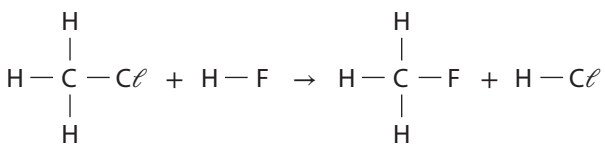
Registre em seu caderno

9. Considere a combustão do gás metano, principal componente do gás natural, representada pela equação química a seguir.

$$CH_4(g) + 2\ O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2\ H_2O(v)$$

Para calcular a variação de entalpia dessa reação, quais são as energias de ligação que devem ser consideradas? Você espera que o valor de entalpia calculado seja menor ou maior que zero?

10. Consulte os valores na tabela **Energias de ligação** e calcule a energia potencial química da reação a seguir.



Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O que realmente acelera o metabolismo e por que isso não faz você emagrecer

[...] Antes de saber o que funciona ou não para isso, é preciso compreender o que é o metabolismo. Ele é definido como a soma das reações químicas relacionadas à construção e reparação de tecidos (músculo, pele, cabelo etc.), à regulação da temperatura corporal, à produção de energia e manutenção das funções vitais (respiração, circulação sanguínea etc.).

Para realizar todos esses processos e se manter funcionando, nosso corpo gasta combustível (calorias) – a chamada taxa metabólica basal, ou a quantidade de energia que o organismo utiliza, em repouso, para exercer suas funções básicas. É aí que entra o pensamento de muitas pessoas de que adotar estratégias para "aumentar o metabolismo" e fazer o corpo queimar mais calorias pode ajudar na perda de peso. Mas não é simples assim.

Primeiro, porque muitas das táticas acabam promovendo um aumento muito pequeno no gasto energético (cerca de 20 a 100 calorias por dia), incapaz de gerar uma queima de gordura significativa. E segundo porque nosso organismo é programado para "poupar energia". Então, mesmo que a pessoa use uma tática para aumentar seu gasto calórico em repouso, o corpo tende a se adaptar e buscar meios de economizar a energia.

Portanto, pensando em emagrecer com saúde, o mais importante é uma alimentação saudável (rica em alimentos naturais) e a prática regular de exercícios. Nenhuma estratégia para aumentar o metabolismo vai ser capaz de funcionar sozinha e compensar uma ingestão calórica exagerada ou uma dieta ruim. Tendo isso em mente, entenda o que funciona ou não para aumentar seu metabolismo.

[...] As atividades físicas estão diretamente ligadas ao aumento da taxa metabólica basal. Tanto os exercícios de força (musculação, treino funcional) quanto os aeróbicos (corrida, *bike*) fazem com que o corpo queime mais calorias, inclusive nos períodos de descanso. Isso porque o corpo gasta energia para reparar os danos que os músculos sofrem durante a atividade física.

A atividade física ainda promove o ganho de massa muscular, tecido que nosso organismo gasta mais energia para manter do que a gordura, por exemplo.

[...] Pimenta, café (por causa da cafeína), gengibre, canela e suplementos termogênicos realmente têm a capacidade de elevar nosso gasto energético em repouso. E nos alimentos que fazem isso ainda há outros benefícios.

A ação adrenérgica da pimenta, além de favorecer a queima calórica, reduz o apetite. Já o gengibre e a canela possuem propriedades anti-inflamatórias, que ajudam a dar disposição, a recuperação muscular e aceleram o metabolismo. E o café tem substâncias antioxidantes.

Porém, tenha em mente que o efeito dessas substâncias é muito pequeno e eles não vão fazer você emagrecer sem bons hábitos alimentares e treinamento regular.

[...] Existem cada vez mais profissionais que defendem que as refeições devem respeitar os sinais de saciedade, ou seja, devemos nos alimentar quando sentirmos fome e não nos obrigarmos a comer a cada "X" horas.

Nesse caso, seria mais importante para o metabolismo o que se come e o quanto se come nessas refeições. Por outro lado, o estado de jejum prolongado ou de restrição calórica reduz os níveis dos hormônios tireoidianos, que são fundamentais para manter o metabolismo funcionando corretamente.

O ideal é recorrer a um profissional que vai desenvolver o plano alimentar adequado às suas necessidades. [...]

Fonte: FIRMINO, C. O que realmente acelera o metabolismo e por que isso não faz você emagrecer. **VivaBem UOL**, 4 jan. 2022. Disponível em: https://www.uol.com.br/vivabem/noticias/redacao/2022/01/04/termogenico-pimenta-proteina-o-que-realmente-acelera-o-metabolismo.htm. Acesso em: 8 jun. 2024.

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. Pesquise em fontes confiáveis sobre quais funções em nosso organismo estão associadas à taxa de metabolismo basal.
2. Pesquise em fontes confiáveis e explique por que os termogênicos, que podem conter, por exemplo, cafeína, não são eficazes para promover a perda significativa de massa corporal para pessoas com indicação médica para isso, apesar de acelerarem o metabolismo.
3. Qual é sua opinião sobre a venda de termogênicos? Discuta com um grupo de colegas e elabore com eles argumentos pró e contra a comercialização desse tipo de produto.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADES DE FECHAMENTO

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. Durante uma aula experimental, o professor pediu aos estudantes que observassem a variação de temperatura em um sistema termicamente isolado. Nele havia, um ao lado do outro, em contato direto, três objetos de metal: um de latão, um de zinco e um de ferro. Após certo tempo, os estudantes verificaram que a temperatura do zinco e a do latão aumentaram. Com base nessa observação, alguns estudantes fizeram as seguintes afirmações sobre o que ocorreu no sistema.

I. A energia foi transferida do objeto de zinco para o de ferro e deste para o de latão.

II. Não houve transferência de energia entre os objetos porque o sistema era termicamente isolado.

III. Houve transferência de energia entre os objetos até que o sistema atingisse o equilíbrio térmico.

IV. A temperatura do objeto de ferro não se alterou durante o experimento.

V. A temperatura do objeto de ferro diminuiu durante o experimento.

Quais afirmações estão corretas e em quais os estudantes cometeram algum erro? Justifique.

2. O enxofre elementar (S_8) é um sólido amarelo que pode apresentar duas formas cristalinas diferentes, conhecidas como enxofre monoclínico e enxofre rômbico. A transformação do enxofre rômbico em monoclínico, a 25 °C e 1 bar, ocorre mediante absorção de 33 kJ de energia. Em relação às informações apresentadas, indique a(s) afirmativa(s) correta(s). 2. Alternativas **a** e **c**.

a. O enxofre monoclínico e o enxofre rômbico são alótropos porque são substâncias simples formadas por átomos do mesmo elemento químico.

b. A transformação do enxofre rômbico em monoclínico é um processo endotérmico porque ocorre com transferência de calor do sistema para a vizinhança.

c. A transformação do enxofre rômbico em monoclínico é um processo endotérmico porque ocorre com a transferência de calor da vizinhança para o sistema.

3. Em dias de temperaturas altas ou quando nos exercitamos, transpiramos para auxiliar na manutenção da temperatura corporal. A evaporação do suor é um processo endotérmico ou exotérmico? Justifique sua resposta.

4. Um farmacêutico precisava preparar uma solução de álcool 70% para ser utilizada como antisséptico. Essa solução contém 70% em massa de etanol em água. Ao misturar o etanol em água, ele observou o aquecimento espontâneo da mistura e concluiu que o processo era exotérmico. Em relação a esse processo, podemos afirmar que a: 4. Alternativa **b**.

a. entalpia final é maior que a inicial.

b. entalpia inicial é maior que a final.

c. variação da entalpia é maior que zero.

d. variação da entalpia é nula.

5. (Fuvest-SP) Considere a reação de fotossíntese e a reação de combustão da glicose representadas a seguir.

$$6\ CO_2(g) + 6\ H_2O(\ell) \xrightarrow{\text{Luz e clorofila}} C_6H_{12}O_6(s) + 6\ O_2(g)$$

$$C_6H_{12}O_6(s) + 6\ O_2(g) \rightarrow 6\ CO_2(g) + 6\ H_2O(\ell)$$

Sabendo que a energia envolvida na combustão de um mol de glicose é $2{,}8 \cdot 10^6$ J, ao sintetizar meio mol de glicose, a planta vai liberar ou absorver energia? Determine o calor envolvido nessa reação.

6. (UEG-GO) Uma pessoa consome diariamente 5 copos de 200 mL de água a uma temperatura de 16 °C por 30 dias e, por vias metabólicas, o organismo deve manter a temperatura corporal a aproximadamente 36 °C. Nesse período, supondo um caso ideal, para elevar a temperatura da água até a temperatura corporal, o total de energia consumida pelo organismo, em kcal, será de aproximadamente

Dados para água: calor específico = 1 cal g^{-1} $°C^{-1}$, densidade = 1 g/mL. 6. Alternativa **e**.

a. 20.

b. 80.

c. 120.

d. 350.

e. 600.

7. Um professor de Química propôs um desafio aos estudantes: calcular a variação de entalpia de um processo sem identificar os reagentes e os produtos. Para isso, as seguintes equações termoquímicas foram fornecidas:

$$X(g) \rightarrow Y(g) \qquad \Delta H_1 = -70\ kJ\ mol^{-1}$$

$$X(g) \rightarrow Z(g) \qquad \Delta H_2 = +90\ kJ\ mol^{-1}$$

Sabendo que as reações foram realizadas sob as mesmas condições de temperatura e pressão, a variação de entalpia que deve ser calculada é da reação representada por: $Y \rightarrow Z$

a. Calcule a variação de entalpia da reação e explique como é possível obter tal resultado desconhecendo a identidade de produtos e reagentes.

b. Construa um diagrama de entalpia que represente a resolução do item **a**.

8. O metanol (CH_4O) é empregado como combustível em carros de corrida. Isso ocorre porque, caso haja um acidente e ele entre em combustão, o fogo gerado pode ser apagado facilmente com água sem que se produza fumaça negra, o que atrapalharia as equipes de salvamento. Sabendo que os produtos da combustão do metanol são o gás dióxido de carbono e água no estado líquido, calcule a entalpia de combustão de 2 mol desse composto líquido.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Utilize as informações do quadro a seguir para o cálculo.

$C(graf) + 2\,H_2(g) + \frac{1}{2}\,O_2(g) \rightarrow CH_4O(\ell)$	$\Delta H_f^\circ = -238{,}6\ kJ\ mol^{-1}$
$C(graf) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$	$\Delta H_f^\circ = -393{,}5\ kJ\ mol^{-1}$
$H_2(g) + \frac{1}{2}\,O_2(g) \rightarrow H_2O(\ell)$	$\Delta H_f^\circ = -285{,}8\ kJ\ mol^{-1}$

9. Uma família resolveu rever suas despesas com gás e avaliou a troca de gás liquefeito de petróleo (GLP) por gás natural (GN). A seguir, alguns dados sobre os dois tipos de combustível.

Comparação entre GLP e GN

Tipo de gás	Composição (%)	Massa molar (g/mol)	$\Delta H°_C$ (kcal/mol)	Densidade a 25 °C (kg/m³)	Custo (R$)
Gás liquefeito de petróleo (GLP)	50% butano (C_4H_{10})	58	690	2,1	3,5/kg
	50% propano (C_3H_8)	44	530		
Gás natural (GN)	100% metano (CH_4)	16	208	0,8	2,0/m³

Fonte: elaborado com base em CONFEDERAÇÃO Nacional da Indústria. **Especificação do gás natural**: oportunidades e experiência internacional/CNI. Brasília: CNI, 2019; ATKINS, P.; JONES, L. **Princípios de Química**: Questionando a vida moderna e o meio ambiente. Porto Alegre: Bookman, 2001.

Comparação de propriedades químicas e custo entre os gases GLP e GN.

Considerando que o consumo médio mensal de GLP seja de 13 kg, determine a economia (em R$) anual que essa família vai fazer ao trocar o sistema GLP por GN. (Desconsiderar os eventuais custos de instalação do GN.) 9. Alternativa **b**.

a. R$ 72,00
b. R$ 188,00
c. R$ 288,00
d. R$ 432,00
e. R$ 576,00

10. (Fuvest-SP) Fogareiros abastecidos com pequenos botijões de gás são equipamentos corriqueiros em trilhas e escaladas de duração prolongada para possibilitar o cozimento de alimentos. Em geral, esses botijões são abastecidos com propano, isobutano ou n-butano. A tabela mostra a temperatura de ebulição e o calor liberado na combustão desses três gases, à pressão atmosférica.

	Temperatura de ebulição (°C)	Calor liberado na combustão (kcal/m³ de substância na fase gasosa)
Propano	–42	5.065
Isobutano	–12	8.211
n-Butano	–1	8.411

Com base nessas informações, qual seria o gás mais indicado para a utilização em um ambiente com temperatura típica de –6 °C, considerando a viabilidade e o consumo de gás necessário para o preparo de alimentos? 10. Alternativa **b**.

a. Propano, por estar líquido em –6 °C e, dentre as substâncias líquidas nessa temperatura, sua combustão fornecer mais calor por volume de gás.
b. Isobutano, por estar gasoso em –6 °C e, dentre as substâncias gasosas nessa temperatura, sua combustão fornecer mais calor por volume de gás.
c. n-Butano, por estar gasoso em –6 °C e, dentre as substâncias gasosas nessa temperatura, sua combustão fornecer mais calor por volume de gás.
d. n-Butano, por estar líquido em –6 °C e, dentre as substâncias gasosas nessa temperatura, sua combustão fornecer menos calor por volume de gás.
e. Isobutano, por estar gasoso em –6 °C e, dentre as substâncias gasosas nessa temperatura, sua combustão fornecer menos calor por volume de gás.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Capítulo 6

Oxirredução

ADVTP/SHUTTERSTOCK

Pontes que ligam duas regiões da cidade de Florianópolis – ilha e continente – são suscetíveis ao processo de corrosão, intensificado pela maresia. Florianópolis, SC, 2024.

A manutenção de estruturas metálicas comprometidas pela corrosão custa ao Brasil, anualmente, cerca de 4% do produto interno bruto (PIB). O impacto do processo de corrosão é ainda maior em regiões litorâneas devido à maresia. Além da implicação econômica, esse processo também causa grande preocupação do ponto de vista ambiental, porque a reposição ou a manutenção das estruturas danificadas – que, em grande parte, são feitas de aço – demandam um expressivo gasto de energia e de recursos naturais em seus processos metalúrgicos.

Em um país como o Brasil, com extensão litorânea de 7.000 km, a prevenção da corrosão deve fazer parte do planejamento de ações do setor público, a fim de garantir a segurança da população e reduzir impactos ambientais. O desenvolvimento tecnológico de produtos e processos capazes de prolongar a vida útil de diversos tipos de estruturas metálicas, bem como de tornar os processos industriais mais sustentáveis, está relacionado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 9 – Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação – e 12 – Garantir padrões de consumo e de produção sustentáveis.

Este capítulo, além de possibilitar a compreensão dos mecanismos intrínsecos da corrosão e promover a reflexão sobre a necessidade de estratégias eficazes de uso sustentável de recursos naturais, irá apresentar conceitos de fontes de energia relacionadas às tecnologias de transferência de elétrons.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Conceitos fundamentais

O termo **corrosão** é uma denominação genérica para o fenômeno de degradação de um material. Ela pode ocorrer por causa de reações de oxirredução que envolvem a transferência de elétrons entre as espécies químicas envolvidas.

O aço é uma liga metálica composta predominantemente de átomos do elemento químico ferro (Fe). A corrosão do ferro pode ser percebida em decorrência da formação de um sólido marrom-avermelhado na superfície do material, chamado **ferrugem**.

Considere a possibilidade de realizar em sala de aula esse experimento envolvendo palha de aço e água sanitária. No Suplemento para o professor, há indicações de segurança referentes ao experimento.

Um experimento que pode ser conduzido com materiais caseiros para estudo da formação da ferrugem é a corrosão de palha de aço em água sanitária. A água sanitária é uma solução aquosa que contém hipoclorito de sódio (NaCℓO), e a palha de aço é constituída basicamente de ferro. Ao deixar a palha de aço mergulhada em um recipiente com água sanitária, após um tempo, ela adquire uma aparência diferente da original, conforme mostra a figura a seguir.

RICARDO SIWIEC/ARQUIVO DA EDITORA

A palha de aço em contato com água sanitária, após algum tempo, começa a mudar de cor. A formação de um sólido marrom-avermelhado é evidência de uma transformação química – neste caso, uma reação de oxirredução.

A reação de corrosão do ferro forma produtos como hidróxido de ferro(II), hidróxido de ferro(III), óxido de ferro(II) e óxido de ferro(III). Contudo, por simplificação, vamos considerar como produto dessa reação apenas o óxido de ferro(III), Fe_2O_3, que apresenta cor semelhante à ferrugem, conforme pode-se constatar na figura a seguir.

TURTLE ROCK SCIENTIFIC/SCIENCE SOURCE/FOTOARENA

Amostra pura de óxido de ferro(III) (Fe_2O_3).

Considerando o exemplo descrito e a simplificação de que a palha de aço é feita de ferro puro e somente óxido de ferro(III) é produzido, a reação pode ser representada pela equação química:

$$2\ Fe(s) + 3\ NaC\ell O(aq) \rightarrow Fe_2O_3(s) + 3\ NaC\ell(aq)$$

A equação química apresentada é classificada como uma **reação de oxirredução**. Nesse tipo de reação, ocorre a transferência de elétrons entre as espécies químicas envolvidas. Nesse contexto, quando uma espécie química perde um ou mais elétrons, dizemos que ela **oxidou**. Já quando uma espécie química ganha um ou mais elétrons, dizemos que ela **reduziu**.

Mas de que modo é possível saber qual espécie ganhou ou perdeu elétrons? Para responder a essa pergunta, será necessário conhecer um conceito importante em Eletroquímica: **número de oxidação** – **nox**.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O número de oxidação de um átomo está relacionado às cargas elétricas – provenientes de uma ligação iônica ou de uma ligação covalente – que ocorrem nos átomos de uma substância. O ferro, elemento químico presente na palha de aço do experimento descrito anteriormente, pode apresentar diferentes números de oxidação, conforme mostra a tabela a seguir.

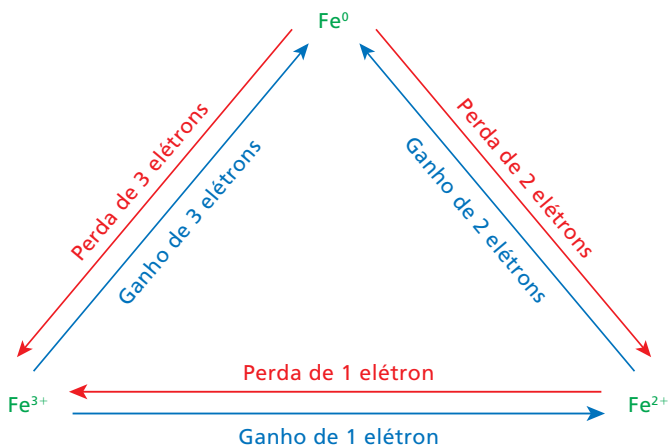
Características de algumas espécies químicas do ferro

Formas do elemento químico ferro (Fe)	Representação	Número de oxidação	Número de prótons	Número de elétrons
Ferro elementar	Fe ou Fe^0	0	56	56
Ferro(II)	Fe^{2+}	+2	56	54
Ferro(III)	Fe^{3+}	+3	56	53

As espécies químicas do ferro diferem em relação ao seu número de oxidação.

Fonte: elaborada com base em IUPAC. **Tabela periódica dos elementos**. Versão de 4 maio 2022. Disponível em: https://iupac.org/wp-content/uploads/2022/07/IUPAC_Periodic_Table-04May22_CRA.pdf. Acesso em: 31 ago. 2024.

O nox do ferro elementar (Fe) é igual a zero porque, nessa forma de substância simples, há apenas átomos de ferro. Como não há diferença de eletronegatividade entre átomos do mesmo elemento químico, não há uma distribuição heterogênea de cargas elétricas; assim, o nox dos átomos é igual a zero. Note que o número de oxidação do ferro pode mudar em função de ganhos e perdas de um ou mais elétrons. Considere o esquema a seguir:



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Agora considere o caso do hipoclorito de sódio (NaCℓO). Dos três elementos químicos envolvidos, o oxigênio é o mais eletronegativo. Por essa razão, seu nox será –2, o que ocorre na maioria dos casos. Como o sódio (Na) é, dos três elementos químicos do NaCℓO, o menos eletronegativo e apresenta apenas um elétron na camada de valência, assumirá nox +1, assim como todos os elementos químicos de seu grupo – os metais alcalinos. O cloro (Cℓ) é mais eletronegativo que o sódio, mas menos eletronegativo que o oxigênio. Como o oxigênio adquire estabilidade com dois elétrons em sua camada de valência, o sódio e o cloro terão, cada um, nox +1, enquanto o oxigênio terá nox –2. Note que a soma dos nox dos elementos químicos que compõem o hipoclorito de sódio (NaCℓO) é igual a zero – condição que ocorre em todas as espécies eletricamente neutras.

Assim, na reação descrita entre o ferro da palha de aço e o hipoclorito de sódio da água sanitária, os nox de cada elemento químico nos reagentes e produtos são:

$$\overset{0}{2\,Fe(s)} + 3\,\overset{+1\ +1\ -2}{NaC\ell O(aq)} \longrightarrow \overset{+3\ -2}{Fe_2O_3(aq)} + 3\,\overset{+1\ -1}{NaC\ell(aq)}$$

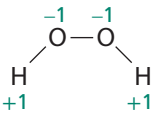
Note que o nox do ferro na transformação passou de zero para +3 (o aumento do nox é resultado da transferência de elétrons, fenômeno denominado **oxidação**). Já o cloro passou de +1 para –1 (a diminuição do nox é resultado do ganho de elétrons, fenômeno denominado **redução**).

Os fenômenos de oxidação e redução estão interligados: os elétrons recebidos pela espécie que reduz são fornecidos pela espécie que oxida. Geralmente, sem oxidação não há redução, e vice-versa.

Por isso, é comum na linguagem química referir-se à espécie que passa por redução como **agente oxidante**, ou seja, a espécie que promove a oxidação passa por redução. Há também a expressão **agente redutor**, ou seja, a espécie que promove a redução passa por oxidação.

Nox dos elementos químicos mais comuns

Muitos elementos químicos representativos (grupos 1, 2 e 13 a 18 da tabela periódica) apresentam valores de nox que praticamente não variam nos compostos. Esse é o caso dos metais alcalinos (nox +1), dos metais alcalinoterrosos (nox +2) e do flúor (nox –1). É também o caso do oxigênio e do hidrogênio, com algumas exceções: por exemplo, o nox do oxigênio nos peróxidos e o do hidrogênio nos hidretos é –1. No entanto, o nox do carbono pode variar de –4 até +4, embora a possibilidade de múltiplos valores de nox seja mais comum entre os elementos químicos de transição (grupos 3 a 12 da tabela periódica). Enquanto o zinco (Zn) apresenta nox +2, o manganês (Mn), por exemplo, pode apresentar nox +2, +4 e +7.



Peróxido de hidrogênio

Hidreto de lítio

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADE COMENTADA

(Uerj) Em estações de tratamento de água, é feita a adição de compostos de flúor para prevenir a formação de cáries. Dentre os compostos mais utilizados, destaca-se o ácido fluossilícico, cuja fórmula molecular corresponde a H_2SiF_6. O número de oxidação do silício nessa molécula é igual a:

a. +1 **c.** +4

b. +2 **d.** +6

Analisar o enunciado

A questão solicita que se calcule o número de oxidação do átomo do elemento químico silício no composto ácido fluossilícico, cuja fórmula é H_2SiF_6.

Selecionar as informações relevantes

Para calcular o nox do silício (Si) no composto citado, devemos analisar os demais elementos químicos que fazem parte da composição do ácido fluossilícico (H_2SiF_6). No caso, o hidrogênio (H) e o flúor (F).

Aplicar o conceito estudado

Nesse composto químico, o hidrogênio (ligado a não metais) apresenta nox igual a +1, enquanto o flúor (substância composta) tem nox –1.

Partindo do princípio de que a soma dos nox dos átomos deve ser igual a zero, pois se trata de um composto eletricamente neutro, temos:

$2 \cdot (\text{nox}_H) + x + 6 \cdot (\text{nox}_F) = 0$

$2 \cdot (+1) + x + 6 \cdot (-1) = 0$

$+2 + x - 6 = 0$

$\therefore x = +4$

Verificar a solução

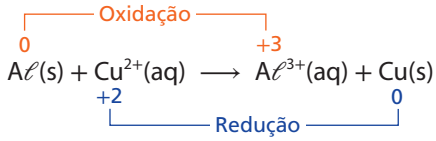
Considerando que a soma dos nox deve ser igual a zero, temos um valor de +4 para o átomo de silício. Esse valor é adequado, pois o elemento químico silício tem quatro elétrons de valência e, nesse contexto, associado a seis átomos de flúor, transfere seus elétrons de valência e adquire nox +4.

Balanceamento das equações químicas de oxirredução

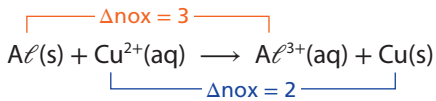
Como em qualquer outro processo químico, nas reações de oxirredução, o balanceamento das equações químicas deve obedecer à **lei da conservação das massas**. Isso significa que o número total de átomos envolvidos na reação não será alterado. Porém, para essas reações, é necessário considerar também o balanceamento de cargas elétricas, de forma que o número de elétrons cedidos corresponda ao número de elétrons recebidos entre os átomos envolvidos.

Utilizando como exemplo a representação da reação de oxidação do alumínio metálico por íons cobre, $Cu^{2+}(aq)$ em solução, é possível estabelecer as seguintes etapas para realizar o balanceamento.

1. Determinar o nox de todas as espécies químicas presentes para reconhecer quais delas foram oxidadas e quais foram reduzidas:

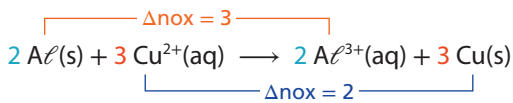


2. Registrar o número de elétrons cedidos e recebidos por meio do módulo da variação do nox, representado por Δnox:



O módulo garante que tenhamos sempre uma variação positiva de nox, evitando, assim, trabalhar com coeficientes negativos, o que quimicamente não tem significado.

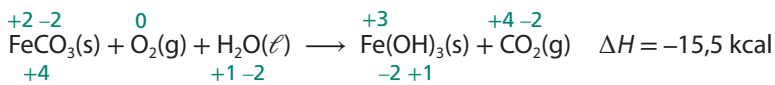
3. Igualar o número de elétrons cedidos e recebidos usando coeficientes estequiométricos adequados.



Usando os coeficientes estequiométricos 3 para os íons $Cu^{2+}(aq)$ e 2 para o $A\ell^{3+}(aq)$, iguala-se a quantidade de elétrons cedidos e recebidos: $3 \cdot 2\ e^- = 2 \cdot 3\ e^-$.

Em equações químicas na forma iônica, é necessário atentar para o fato de que a carga elétrica total dos reagentes deve ser igual à carga elétrica total dos produtos. Assim, para a reação em questão, há uma carga de $3 \cdot (+2) = +6$ no primeiro membro da equação química e de $2 \cdot (+3) = +6$ no segundo membro.

Acompanhe outro exemplo: uma reação química envolvendo íons ferro que certos microrganismos utilizam para obter energia, em uma das modalidades do processo denominado **quimiossíntese**. A equação química que representa a reação está esquematizada de forma não balanceada com os nox (indicados em verde) de todas as espécies.



Note que a variação de entalpia da reação (ΔH) é negativa, o que indica que a reação libera energia, ou seja, trata-se de uma reação exotérmica. Da análise dos nox, concluímos que os íons ferro (Fe^{2+}) presentes no carbonato de ferro(II) $FeCO_3(s)$ foram oxidados, e que os átomos de oxigênio do gás oxigênio (O_2) foram reduzidos. Assim, o Fe^{2+} é o agente redutor e o O_2 é o agente oxidante.

Conhecidas as espécies que foram oxidadas e as que foram reduzidas, pode-se registrar o número de elétrons cedidos e recebidos por meio do módulo da variação do nox:

$$|\Delta nox(Fe)| = 1;\ |\Delta nox(O)| = 2$$

Igualando o número de elétrons cedidos e recebidos, levando em conta a quantidade de átomos de oxigênio presente na molécula de gás oxigênio, temos:

$$2 \cdot 2\ e^- = x \cdot 1\ e^- \Rightarrow x = 4$$

O que nos leva aos coeficientes estequiométricos 4 para as espécies contendo ferro, e 1 para o gás oxigênio:

$$4\ FeCO_3(s) + 1\ O_2(g) + H_2O(\ell) \rightarrow 4\ Fe(OH)_3(s) + CO_2(g)$$

Por fim, realizamos o balanço de massa das espécies presentes, chegando à equação química final:

$$4\ FeCO_3(s) + 1\ O_2(g) + 6\ H_2O(\ell) \rightarrow 4\ Fe(OH)_3(s) + 4\ CO_2(g)$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

1. O enxofre é um elemento químico presente em uma grande variedade de compostos. Na forma elementar, S_8, está presente em vulcões. Sua extração nos vulcões envolve perigos à saúde, pois, nesse ambiente, há alta quantidade de substância de dióxido de enxofre gasoso ($SO_2(g)$), que é muito tóxico ao ser humano. A extração de enxofre é uma das atividades mais insalubres do mundo.

Além disso, esse gás, quando em contato com a água, forma o ácido sulfúrico (H_2SO_4), podendo causar o fenômeno da chuva ácida. Determine o nox do enxofre nas espécies citadas.

ERBERTO ZANI/ALAMY/FOTOARENA

Mineradores extraindo enxofre elementar nos arredores do vulcão Ijen, na ilha de Java, Indonésia, 2023.

2. O fertilizante sulfato de amônio, $(NH_4)_2SO_4$, é utilizado na agricultura como fonte de enxofre e nitrogênio. O composto pode ser obtido pela sequência de transformações químicas resumida no esquema a seguir.

$$S^{2-} \xrightarrow{1} SO_2 \xrightarrow{2} SO_3 \xrightarrow{3} H_2SO_4 \xrightarrow{4} (NH_4)_2SO_4$$

Íon sulfeto — Dióxido de enxofre — Trióxido de enxofre — Ácido sulfúrico — Sulfato de amônio

Nessa sequência de transformações, o íon sulfeto (S^{2-}) transforma-se em dióxido de enxofre (SO_2), que, por sua vez, transforma-se em trióxido de enxofre (SO_3). Esse último, por sua vez, transforma-se em ácido sulfúrico (H_2SO_4), que, finalmente, transforma-se em sulfato de amônio.

Considerando as transformações 1 a 4, são feitas as seguintes afirmações em relação ao nox do átomo de enxofre presente nas espécies químicas envolvidas:

I. Nas transformações 1 e 2, ocorre perda de elétrons.

II. Na transformação 4, não ocorre variação do nox.

III. Nas transformações 2 e 3, ocorre ganho de elétrons.

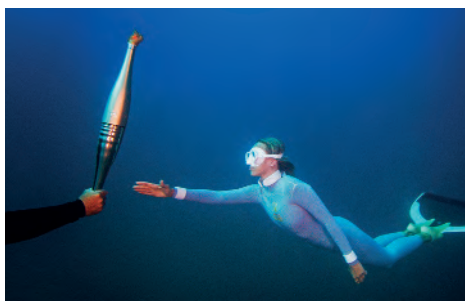
Das afirmações apresentadas, estão corretas 2. Alternativa **a**.

a. I e II. **b.** II e III. **c.** I e III. **d.** I, II e III.

3. Observe a equação química da reação que fornece o gás oxigênio necessário para que a chama das tochas olímpicas se mantenha acesa mesmo debaixo da água, como a dos Jogos Olímpicos de Verão de 2024, que esteve submersa nas águas do mar Mediterrâneo:

$$4\ NH_4C\ell O_4(s) \rightarrow N_2(g) + 6\ H_2O(g) + 4\ HC\ell(g) + 5\ O_2(g)$$

Perclorato de amônio — Gás nitrogênio — Água — Cloreto de hidrogênio — Gás oxigênio



SAMUEL JEGLOT/POISSON LUNE PRODUCTIONS/PARIS 2024/AFP

Tocha olímpica dos Jogos Olímpicos de Paris 2024 acesa mesmo submersa em água, na cidade francesa Villefranche-sur-mer em 2024.

a. Quais são os valores dos nox desses átomos no reagente e nos produtos?

b. Átomos de quais elementos químicos passam por variação de nox nessa reação?

c. Explique como a produção de gás oxigênio pode ajudar a manter acesa a tocha olímpica.

4. As missões Apollo foram pensadas para a exploração lunar (o primeiro pouso de um ser humano na Lua ocorreu em 1969). O módulo lunar que pousou no satélite e depois voltou à Terra era alimentado por um combustível composto de uma mistura de hidrazina (N_2H_4) e tetróxido de dinitrogênio (N_2O_4). A reação entre essas substâncias, que é de oxirredução, produz gás nitrogênio (N_2) e vapor-d'água (H_2O). Monte a equação química balanceada que representa a reação descrita.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Fique por dentro

Ferreiros e alquimistas – jogo brasileiro reconta a história da tribo indígena Tayronas da Colômbia e o processo de alquimia para criar o ouro de tolo

EICHLER, M. L. *et al*. **Jogo**: Ferreiro e Alquimia. UFRGS. Disponível em: https://www.ufrgs.br/napead/projetos/ferreiros-e-alquimistas/. Acesso em: 2 set. 2024.

O jogo, desenvolvido por pesquisadores da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), envolve alquimia e metalurgia e a relação dessas práticas no cotidiano de povos pré-hispânicos.

Espontaneidade das reações de oxirredução

Alguns metais nobres, como o ouro, resistem à ação do tempo sem aparentes modificações – o ouro mantém seu brilho amarelado característico por muitos anos. Entretanto, outros metais menos nobres, como o ferro, passam por corrosão facilmente, conforme abordado anteriormente.

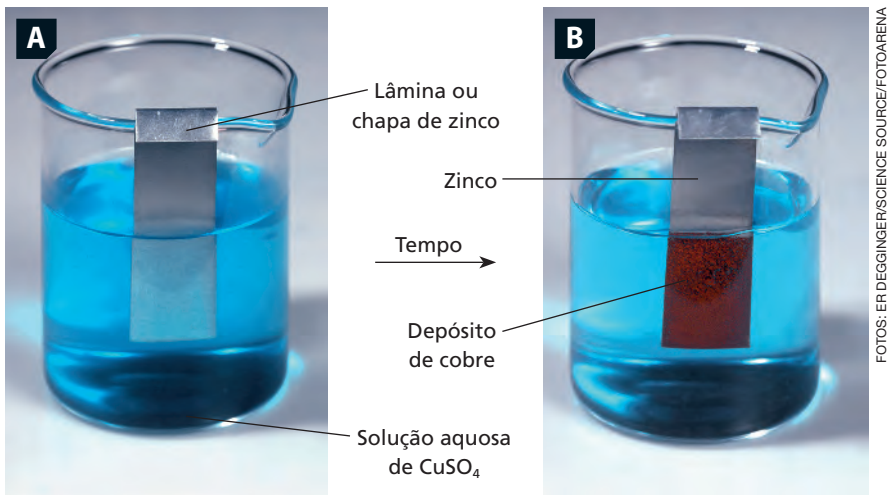
No decorrer deste capítulo será investigada, desde um ponto de vista qualitativo e quantitativo, a reatividade de algumas espécies químicas, principalmente a dos metais.

ROGER PARKES/ALAMY/FOTOARENA

Objeto de ouro do povo Quimbaya, indígenas pré-colombianos que viveram na região da atual Colômbia até cerca de 1700 d.C. Objetos como esse datam de 600 a 1100 d.C., e a interpretação do que eles representam ainda é motivo de controvérsia.

Potencial de redução de espécies químicas

Para entender o que faz do ouro um material tão nobre e quase totalmente inerte quimicamente, considere inicialmente os resultados experimentais sobre a reatividade do zinco metálico, Zn(s), em solução aquosa de sulfato de cobre(II), $CuSO_4(aq)$. Observe as figuras a seguir.



FOTOS: ER DEGGINGER/SCIENCE SOURCE/FOTOARENA

Em **(A),** lâmina de zinco parcialmente submersa em solução aquosa de sulfato de cobre(II). Após certo tempo, observa-se, em **(B)**, o depósito de cobre metálico (avermelhado) sobre a parte da lâmina de zinco submersa – indício de ocorrência de reação química.

Na figura **B**, nota-se a formação de um depósito de cobre sobre a superfície da lâmina de zinco, o que evidencia uma reação de redução por parte dos íons cobre provenientes do sal dissolvido. Os elétrons da redução vêm do zinco, que espontaneamente passa por oxidação. As reações de oxidação, redução e reação global estão representadas nas equações químicas a seguir.

Semirreação de oxidação	$Zn(s) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + 2\ e^-$
Semirreação de redução	$Cu^{2+}(aq) + 2\ e^- \rightarrow Cu(s)$
Reação global	$Zn(s) + Cu^{2+}(aq) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + Cu(s)$

Porém, quando se mergulha uma lâmina de cobre em solução de sulfato de zinco, nenhuma evidência de reação química é observada. O mesmo acontece com

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

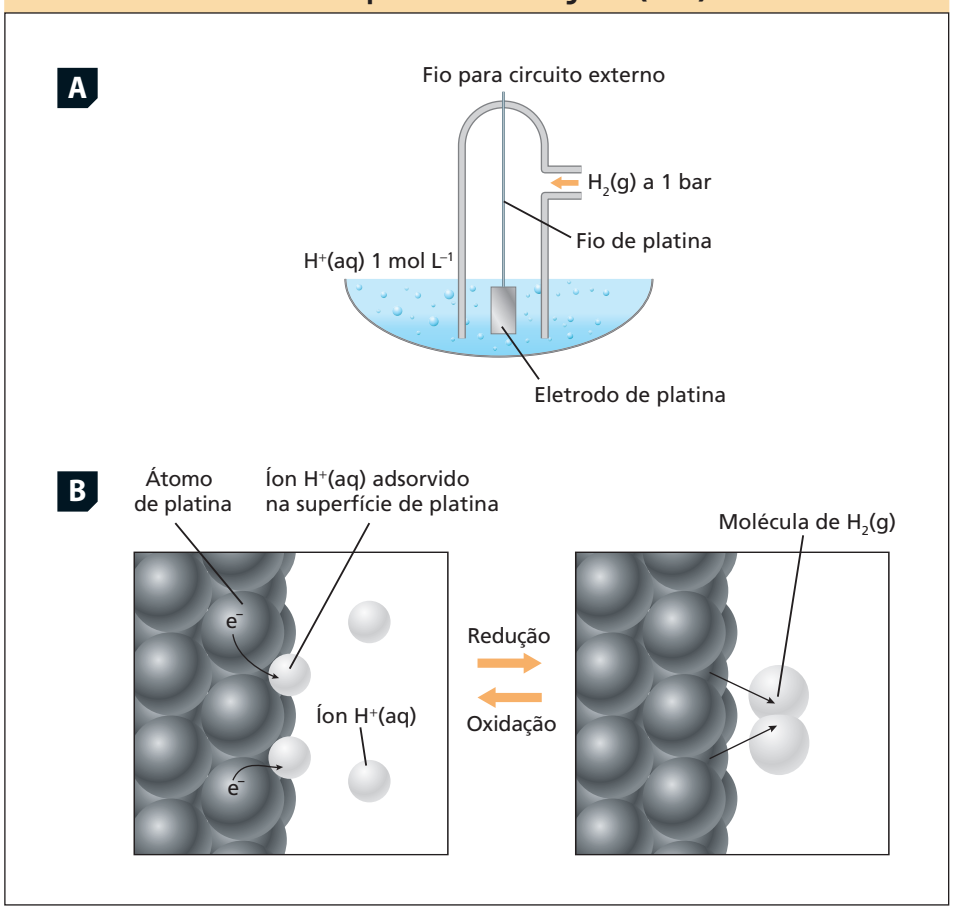
o ouro, a prata e alguns outros metais. Nesse caso, diz-se que o zinco é mais reativo que o cobre ou que o cobre é menos reativo que o zinco. Contudo, ao se mergulhar uma placa de cobre em solução de nitrato de prata, nota-se que o cobre oxida. Esses resultados permitem inferir em uma **fila de reatividade**:

$$Zn > Fe > Sn > Pb > Cu > Ag$$

Para que fosse possível realizar a comparação qualitativa e quantitativa das espécies químicas, criou-se uma escala de **potenciais-padrão de redução** (E°_{red}), que representa a tendência que uma espécie química tem de ganhar elétrons por meio de uma reação de redução, ou a medida da capacidade de uma espécie química de agir como agente oxidante. Esse potencial é **padrão** quando medido em condições-padrão, definidas como 25 °C, 1 atm e quantidade de substância das soluções igual a 1 mol/L. Ou seja, os valores dos potenciais só serão válidos quando a quantidade da espécie oxidada for de 1 mol em um volume de solução igual a 1 L, ou 0,5 mol em 0,5 L, e assim por diante.

Essa escala de potenciais-padrão de redução tem como referência o **eletrodo-padrão de hidrogênio (EPH)**, o qual, por convenção, tem valor de potencial de redução igual a zero. O eletrodo de hidrogênio consiste em uma placa de platina (Pt), metal pouquíssimo reativo, mergulhada em um tubo contendo solução com íons H^+, conforme ilustração a seguir.

Eletrodo-padrão de hidrogênio (EPH)



Fonte: elaborado com base em BROWN, T. L. *et al*. **Chemistry**: The Central Science. 15th ed. Boston: Pearson Prentice Hall, 2021.

Em **(A)**, representação esquemática em corte de um eletrodo-padrão de hidrogênio (EPH). Em **(B)**, representação do que ocorre com o EPH em nível atômico. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

As possíveis reações que ocorrem nesse eletrodo podem ser escritas como uma **semirreação de oxidação** ou como uma **semirreação de redução**, dependendo da espécie conectada ao eletrodo-padrão de hidrogênio; nos dois casos, os potenciais de eletrodo de hidrogênio são, por convenção, iguais a zero. As equações químicas das semirreações de oxidação e redução do hidrogênio são apresentadas a seguir.

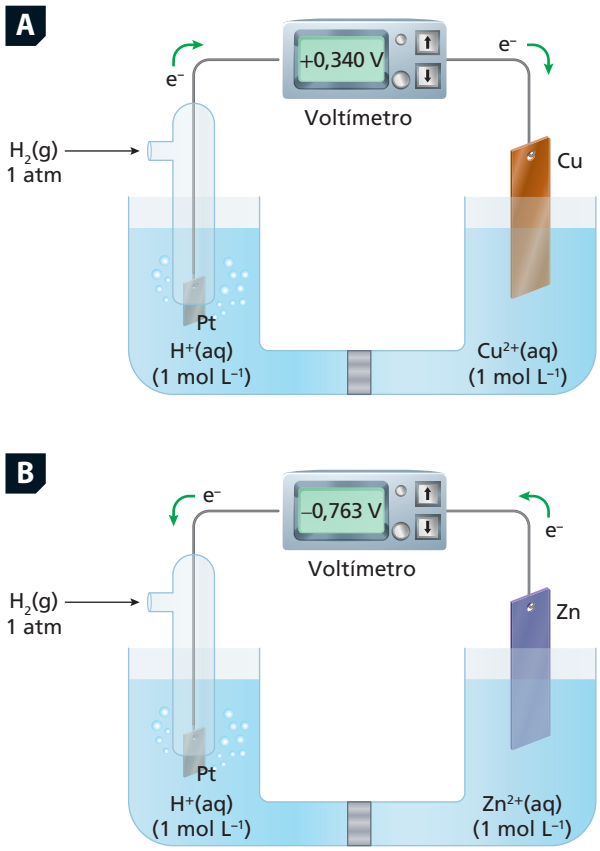
Semirreação de oxidação: $H_2(g) \rightarrow 2\,H^+(aq) + 2\,e^-$ $\quad E^\circ_{red} = 0{,}00\ V$

Semirreação de redução: $2\,H^+(aq) + 2\,e^- \rightarrow H_2(g)$ $\quad E^\circ_{red} = 0{,}00\ V$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.
NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

A seguir, um esquema representando as montagens experimentais para a determinação dos potenciais de redução do cobre e do zinco.

Potenciais de redução do cobre e do zinco em relação ao EPH



Fonte: MOORE, J. W.; STANITSKI, C. L. **Chemistry**: The Molecular Science. 5th ed. Boston: Cengage Learning, 2015.

(A) Representação de montagens experimentais para a determinação do potencial-padrão de redução do cobre e **(B)** do zinco. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Na figura **A**, tem-se uma placa de cobre metálico (Cu) mergulhada em uma solução com íons cobre bivalentes (Cu^{2+}). Essa placa está conectada por meio de um fio condutor ao eletrodo-padrão de hidrogênio. Com o passar do tempo, é possível observar o aumento da massa da placa de cobre, uma evidência de que está ocorrendo a redução do cobre e a oxidação do gás hidrogênio. As reações de oxidação do hidrogênio e redução do cobre são:

Semirreação de oxidação: $H_2(g) \rightarrow 2\,H^+(aq) + 2\,e^-$

Semirreação de redução: $Cu^2(aq) + 2\,e^- \rightarrow Cu(s)$

Voltímetro: instrumento de medida da diferença de potencial elétrico (tensão elétrica). Tem duas extremidades, por meio das quais se pode medir a tensão entre dois pontos quaisquer de um circuito elétrico ou, ainda, entre qualquer ponto e a referência.

A diferença entre o potencial-padrão de hidrogênio (zero, por definição) e o potencial do cobre é medida no **voltímetro**. Todas as espécies que oxidam o hidrogênio ao passarem por redução têm, por convenção, potencial de redução de sinal positivo.

Na figura **B**, tem-se uma placa de zinco metálico (Zn) mergulhada em uma solução com íons zinco bivalentes (Zn^{2+}). Essa placa também está conectada por meio de um fio condutor ao eletrodo-padrão de hidrogênio. Com o passar do tempo, é possível observar a corrosão da placa de zinco, uma evidência de que está ocorrendo a oxidação do zinco e a redução dos íons H^+.

Semirreação de oxidação: $Zn(s) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + 2\,e^-$

Semirreação de redução: $2\,H^+(aq) + 2\,e^- \rightarrow H_2(g)$

A diferença entre o potencial-padrão de hidrogênio (zero por definição) e o potencial do zinco é medida no voltímetro. Todas as espécies que reduzem o hidrogênio ao passarem por oxidação têm, por convenção, potencial de redução de sinal negativo.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Consulte, a seguir, uma tabela com os valores dos potenciais-padrão de redução ($E°_{red}$) de algumas espécies químicas, medidos de forma semelhante aos potenciais do cobre e do zinco.

Potenciais-padrão de redução ($E°_{red}$)

Espécie	Semirreação de redução	$E°_{red}$ (V)
F_2/F^-	$F_2(g) + 2\ e^- \rightarrow 2\ F^-(aq)$	+2,87
Au^+/Au	$Au^+(aq) + e^- \rightarrow Au(s)$	+1,69
$MnO_4^-, H^+/Mn^{2+}$	$MnO_4^-(aq) + 8\ H^+(aq) + 5\ e^- \rightarrow Mn^{2+}(aq) + 4\ H_2O(\ell)$	+1,51
$C\ell_2/C\ell^-$	$C\ell_2(g) + 2\ e^- \rightarrow 2\ C\ell^-(aq)$	+1,36
$Cr_2O_7^{2-}, H^+/Cr^{3+}$	$Cr_2O_7^{2-}(aq) + 14\ H^+(aq) + 6\ e^- \rightarrow 2\ Cr^{3+}(aq) + 7\ H_2O(\ell)$	+ 1,33
$O_2, H^+/H_2O$	$O_2(g) + 4\ H^+(aq) + 4\ e^- \rightarrow 2\ H_2O(\ell)$	+1,23*
Br_2/Br^-	$Br_2(\ell) + 2\ e^- \rightarrow 2\ Br^-(aq)$	+1,09
$NO_3^-, H^+/NO$	$NO_3^-(aq) + 4\ H^+(aq) + 3\ e^- \rightarrow NO(g) + 2\ H_2O(\ell)$	+0,96
Ag^+/Ag	$Ag^+(aq) + e^- \rightarrow Ag(s)$	+0,80
I_2/I^-	$I_2(s) + 2\ e^- \rightarrow 2\ I^-(aq)$	+0,54
O_2/OH^-	$O_2(g) + 2\ H_2O(\ell) + 4\ e^- \rightarrow 4\ OH^-(aq)$	+0,40
Cu^{2+}/Cu	$Cu^{2+}(aq) + 2\ e^- \rightarrow Cu(s)$	+0,34
H^+/H_2	$2\ H^+(aq) + 2\ e^- \rightarrow H_2(g)$	0
Pb^{2+}/Pb	$Pb^{2+}(aq) + 2\ e^- \rightarrow Pb(s)$	−0,13
Sn^{2+}/Sn	$Sn^{2+}(aq) + 2\ e^- \rightarrow Sn(s)$	−0,14
Ni^{2+}/Ni	$Ni^{2+}(aq) + 2\ e^- \rightarrow Ni(s)$	−0,23
Fe^{2+}/Fe	$Fe^{2+}(aq) + 2\ e^- \rightarrow Fe(s)$	−0,44
Zn^{2+}/Zn	$Zn^{2+}(aq) + 2\ e^- \rightarrow Zn(s)$	−0,76
$H_2O/H_2, OH^-$	$2\ H_2O(\ell) + 2\ e^- \rightarrow H_2(g) + 2\ OH^-(aq)$	−0,83**
$A\ell^{3+}/A\ell$	$A\ell^{3+}(aq) + 3\ e^- \rightarrow A\ell(s)$	−1,66
Mg^{2+}/Mg	$Mg^{2+}(aq) + 2\ e^- \rightarrow Mg(s)$	−2,36
Na^+/Na	$Na^+(aq) + e^- \rightarrow Na(s)$	−2,71
K^+/K	$K^+(aq) + e^- \rightarrow K(s)$	−2,93
Li^+/Li	$Li^+(aq) + e^- \rightarrow Li(s)$	−3,05

Fonte: ATKINS, P. W.; JONES, L.; LAVERMAN, L. **Princípios de química**: questionando a vida moderna e o meio ambiente. 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2018.

* +0,82 V em pH = 7.

** −0,42 V em pH = 7.

Os dados de potenciais-padrão de redução ($E°_{red}$) apresentados são à temperatura de 25 °C.

Prevendo a ocorrência de uma reação de oxirredução

Com base na tabela de **Potenciais-padrão de redução ($E°_{red}$)**, é possível prever se uma reação de oxirredução vai ou não ocorrer de forma espontânea nas condições-padrão. Para prever a espontaneidade de uma reação, deve-se primeiro calcular a **diferença de potenciais** (ddp, também simbolizada por ΔE) da seguinte maneira:

$$\text{ddp} = E°_{\text{oxidação (da espécie que oxidou)}} + E°_{\text{redução (da espécie que reduziu)}}$$

O **potencial-padrão de oxidação ($E°_{oxi}$)** de uma espécie pode ser obtido invertendo o sinal do potencial-padrão de redução da mesma espécie. Outra opção é recorrer apenas aos potenciais de redução:

$$\text{ddp} = E°_{\text{redução (da espécie que reduziu)}} - E°_{\text{redução (da espécie que oxidou)}}$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Considere a análise dos casos a seguir:

(A) Reação que ocorre de forma espontânea entre o zinco metálico e a solução aquosa de sulfato de cobre(II).

		Potenciais de redução ($E°_{red}$), oxidação ($E°_{oxi}$) e diferença de potencial (ddp)
Semirreação de oxidação	$Zn(s) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + 2\ e^-$	$E°_{oxi} = +0{,}76\ V$
Semirreação de redução	$Cu^{2+}(a) + 2\ e^- \rightarrow Cu(s)$	$E°_{red} = +0{,}34\ V$
Reação global	$Zn(s) + Cu^{2+}(aq) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + Cu(s)$	$ddp = +0{,}76\ V + (+0{,}34\ V)$ $ddp = +1{,}1\ V$

(B) Reação que não ocorre de forma espontânea entre o cobre metálico e a solução aquosa de sulfato de zinco.

		Potenciais de redução ($E°_{red}$), oxidação ($E°_{oxi}$) e diferença de potencial (ddp)
Semirreação de oxidação	$Cu(s) \rightarrow Cu^{2+}(aq) + 2\ e^-$	$E°_{oxi} = -0{,}34\ V$
Semirreação de redução	$Zn^{2+}(a) + 2\ e^- \rightarrow Zn(s)$	$E°_{red} = -0{,}76\ V$
Reação global	$Cu(s) + Zn^{2+}(aq) \rightarrow Cu^{2+}(aq) + Zn(s)$	$ddp = -0{,}34\ V + (-0{,}76\ V)$ $ddp = -1{,}1\ V$

Note que a ddp positiva está associada à reação que ocorre de forma espontânea, enquanto a ddp negativa está associada a uma reação que não ocorre. Portanto, experimentalmente, observa-se que uma ddp positiva está sempre relacionada a **reações de oxirredução espontâneas**.

Reações de oxirredução e a maresia

A aceleração da corrosão de alguns metais (ferro, principalmente), que gera transtornos aos moradores de regiões litorâneas, deve-se a um fenômeno chamado **maresia** – nome dado às pequenas gotículas de água do mar, na forma de *spray*, que são espalhadas pela ação do vento por toda a atmosfera praiana. A maresia atinge o concreto, tornando-o mais poroso, e as ferragens internas de edificações, causando ferrugem. Os produtos da oxidação do ferro têm como consequência o aumento do volume das ferragens que estão no interior das colunas de sustentação das construções. Por sua vez, a pressão decorrente do aumento do volume das ferragens acarreta o desprendimento de pedaços de concreto.

A seguir, serão analisadas algumas reações e possibilidades de produtos formados na corrosão do ferro em solução aquosa de cloreto de sódio com pH neutro, em alto e baixo teor de gás oxigênio.

Semirreação de oxidação	$Fe(s) \rightarrow Fe^{2+}(aq) + \cancel{2e^-}$
Semirreação de redução	$H_2O(\ell) + \frac{1}{2}O_2(g) + \cancel{2e^-} \rightarrow 2\ OH^-(aq)$
Reação global	$Fe(s) + \frac{1}{2}O_2(g) + H_2O(\ell) \rightarrow Fe(OH)_2(s)$

Nesse processo, os elétrons gerados na oxidação do ferro são conduzidos pelo próprio metal até a região de redução. Os íons Fe^{2+} difundem-se em direção à região em que ocorre a redução, enquanto os íons OH^- migram para a região em que ocorre a oxidação. Assim, em uma região intermediária entre os espaços de oxidação e redução, ocorre a formação do hidróxido de ferro(II), $Fe(OH)_2(s)$. Em um meio com baixo teor de gás oxigênio, o hidróxido de ferro(II), $Fe(OH)_2(s)$, passa pela seguinte reação:

$$3\ Fe(OH)_2(s) \rightarrow Fe_3O_4(s) + 2\ H_2O(\ell) + H_2(g)$$

A magnetita (Fe_3O_4) é verde quando hidratada e preta na forma anidra. Contudo, se o teor de gás oxigênio for elevado, ocorrerá a seguinte sequência de reações:

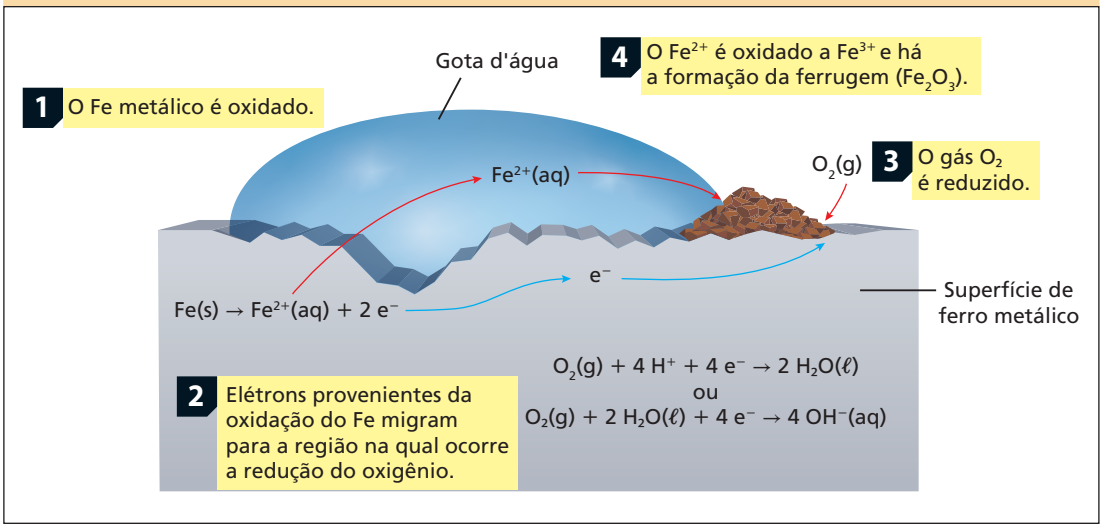
$$2\ Fe(OH)_2(s) + H_2O(\ell) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow 2\ Fe(OH)_3(s)$$

$$2\ Fe(OH)_3 \rightarrow Fe_2O_3 \cdot H_2O(s) + 2\ H_2O(\ell)$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A dinâmica das reações que envolvem a formação da ferrugem pode ser representada, de maneira simplificada, no esquema a seguir.

Formação da ferrugem



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em BROWN, T. L. *et al*. **Química**: a ciência central. 13. ed. São Paulo: Pearson, 2016.

Representação esquemática das reações que dão origem à ferrugem. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

A mistura de água e sal de cozinha dissolvido – parte da composição da água do mar – é ótima condutora de eletricidade. Como os fenômenos de oxirredução envolvem transferência de elétrons e mobilidade de íons, a maresia facilita esses dois aspectos, acelerando os processos de corrosão de materiais como o ferro. Estima-se que a corrosão em regiões litorâneas seja de trinta a quarenta vezes mais intensa do que a ocorrida em locais distantes do litoral. Nessas regiões, os materiais metálicos precisam ser substituídos com mais frequência, o que aumenta os custos de manutenção de estruturas metálicas como das pontes mostradas no início do capítulo. Mais adiante nesta coleção, serão explorados os detalhes das tecnologias existentes para reduzir a oxidação indesejável de materiais.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

5. O ferro, importante para a síntese de hemoglobina no corpo humano, pode assumir três nox: zero (ferro elementar, Fe), +2 (cátion Fe(II), Fe^{2+}) ou +3 (cátion Fe(III), Fe^{3+}). Quantidades muito pequenas de ferro elementar podem ser adicionadas a certos alimentos, como cereais matinais. Esse ferro reage com o suco gástrico do estômago, produzindo o íon Fe(II), que, por sua vez, é absorvido no intestino. Essa reação entre o ferro elementar e o suco gástrico pode ser simulada em laboratório: ferro metálico em pó (semelhante ao ferro presente no cereal) pode ser adicionado em um recipiente com ácido clorídrico concentrado (que simula o suco gástrico), conforme mostram as figuras a seguir:

FOTOS: RICHARD MEGNA/ FUNDAMENTAL PHOTOGRAPHS, NY

(A) A adição de ferro metálico a uma solução de ácido clorídrico **(B)** gera uma reação química que libera gás.

Continua

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Continuação

Copie a tabela a seguir no caderno e preencha as informações solicitadas referentes à reação do ferro com ácido clorídrico. Consulte a tabela de **Potenciais-padrão de redução ($E°_{red}$)**. Faça uma previsão teórica da espontaneidade dessa reação pelo cálculo da ddp.

		Potenciais de redução ($E°_{red}$), oxidação ($E°_{oxi}$) e diferença de potencial (ddp)
Semirreação de oxidação		
Semirreação de redução		
Equação global		

MODELO MODELO

6. Determinada empresa deseja transportar uma solução aquosa de nitrato de ferro(II), $Fe(NO_3)_2$, em um contêiner. A fim de evitar que a solução reaja com o metal que constitui o revestimento interno do contêiner, o que causaria contaminação da solução e risco de vazamento, qual dos metais a seguir **não** poderia ser utilizado no revestimento interno do contêiner: ferro, chumbo, cobre, zinco ou estanho? Justifique sua resposta. Consulte a tabela de **Potenciais-padrão de redução ($E°_{red}$)**.

7. No Brasil, soluções aquosas de hipoclorito de sódio (NaCℓO), também conhecidas como água de lavadeira ou água sanitária, são indicadas para higienizar alimentos como verduras e hortaliças. Já em alguns países europeus, o gás ozônio (O_3) é usado em substituição ao hipoclorito de sódio. Em ambos os casos, a capacidade oxidante das soluções não dá chance de sobrevivência a microrganismos que podem ser prejudiciais à saúde humana. Comparando os potenciais-padrão de redução das duas substâncias, responda: Qual é a espécie química mais eficiente para a higienização de verduras e hortaliças? Justifique.

Potenciais de redução das espécies ozônio (O_3) e hipoclorito ($C\ell O^-$)

Semirreação de redução	$E°_{red}$ (V)
$O_3(g) + 2\,H_2O(aq) + 2\,e^- \rightarrow O_2(g) + 2\,OH^-(aq)$	+1,24
$C\ell O^-(aq) + H_2O(\ell) + 2\,e^- \rightarrow C\ell^-(aq) + 2\,OH^-$	+0,89

Fonte: ATKINS, P. W.; JONES, L.; LAVERMAN, L. **Princípios de química**: questionando a vida moderna e o meio ambiente. 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2018.

Os potenciais apresentados foram obtidos em condições-padrão.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Registre em seu caderno

EM FOCO Saúde e as reações de oxirredução

Autopreservação química

Radicais: Plural de *radical*. Também chamados de radicais livres, são espécies químicas que apresentam um elétron não emparelhado e, por isso, têm considerável instabilidade química.

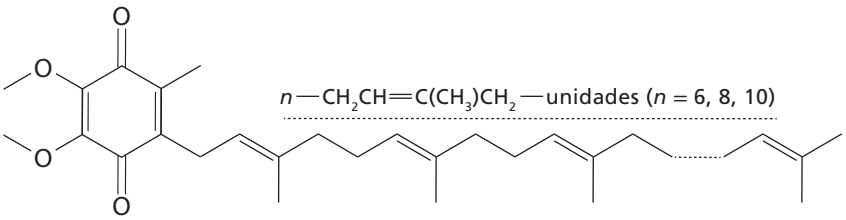
Praticamente qualquer farmácia, supermercado ou loja de suplementos alimentares vende frascos de antioxidantes e produtos naturais antioxidantes, como óleo de peixe e folhas de *Ginkgo biloba* ou de trigo. Esses suplementos alimentares são utilizados para ajudar a controlar a [concentração em quantidade de substância] de **radicais** do corpo humano e retardar o envelhecimento e o aparecimento de doenças degenerativas, como insuficiência cardíaca e câncer.

Os radicais ocorrem naturalmente no corpo como um subproduto do metabolismo. Eles têm funções importantes, mas podem causar problemas se estiverem em concentrações acima das normais. Eles contêm, com frequência, átomos de oxigênio e oxidam as moléculas de lipídios (gorduras) que formam as membranas celulares e outros tecidos vitais. Essas oxidações mudam a estrutura das moléculas de lipídios e, consequentemente, afetam as funções das membranas. As membranas celulares alteradas não conseguem proteger efetivamente as células contra doenças, e as células do coração e dos nervos podem perder sua função. Pesquisas indicam que os danos causados por radicais às células vivas podem ser

Continua

um fator importante no processo de envelhecimento e na disseminação de algumas doenças, como o câncer.

Os *antioxidantes* são moléculas que reagem prontamente com os radicais antes que eles possam causar algum dano ao organismo. Muitos alimentos comuns, como vegetais verdes, suco de laranja e chocolate, contêm antioxidantes. O mesmo acontece com o café e o chá. O organismo mantém uma rede de antioxidantes formada pelas vitaminas A, C e E, por enzimas antioxidantes e por um grupo de compostos relacionados, chamado de coenzima Q, cuja fórmula geral é dada a seguir. *n* é o número de vezes que um dado grupo é repetido e pode ser 6, 8 ou 10.



Estrutura molecular da coenzima Q, um antioxidante usado pelo organismo para controlar o nível de radicais.

[...] a luz ultravioleta, o ozônio no ar que respiramos, a má alimentação e a fumaça de cigarros podem causar estresse oxidativo, uma condição em que a concentração em quantidade de matéria de radicais fica tão alta que os antioxidantes naturais do organismo não conseguem mais nos proteger. O envelhecimento prematuro da pele superexposta à luz do sol e o câncer de pulmão dos fumantes são dois possíveis resultados. Ervas medicinais que contêm certos produtos fitoquímicos, produtos químicos derivados de plantas e óleos de peixe, estão sendo estudados como antioxidantes em potencial que podem complementar a dieta, de modo a aumentar a proteção contra os radicais livres. Eles também estão sendo investigados quanto a sua capacidade de reduzir o processo de envelhecimento.

O padrão estabelecido na versão traduzida do livro Verde da IUPAC é quantidade de substância, apesar de o padrão antigo, quantidade de matéria, que ainda é adotado em Portugal, ser frequentemente utilizado.

Fonte: ATKINS, P. W.; JONES, L.; LAVERMAN, L. **Princípios de química**: questionando a vida moderna e o meio ambiente. 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2018.

CAOYU36/ISTOCK/GETTY IMAGES

Folhas da árvore *Gingko biloba*, de origem chinesa. Extratos dessas folhas têm, aparentemente, propriedades antioxidantes. Alguns acreditam também que esses extratos melhoram o desempenho cognitivo, devido ao aumento do fluxo de O_2 para o cérebro. Tamanho da folha: cerca de 5 cm de comprimento.

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. Com relação às reações de oxidação e redução, o que acontece com um radical livre quando um antioxidante reage com ele?
2. Os antioxidantes são espécies químicas com baixos ou altos potenciais de oxidação? Justifique.
3. Explique a relação dos radicais livres e da exposição solar da pele sem proteção com a possibilidade de desenvolvimento de câncer de pele.

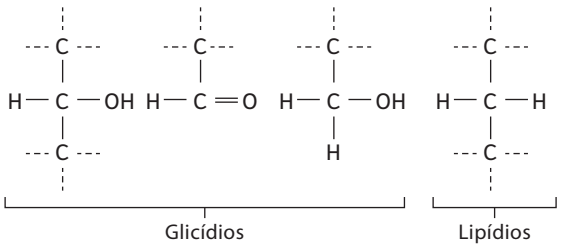
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADES DE FECHAMENTO

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Sempre que considerar necessário, consulte a tabela de **Potenciais-padrão de redução (E°_{red})** apresentada anteriormente.

1. Glicídios e proteínas têm valor energético de 3 kcal g^{-1} a 4 kcal g^{-1}. Em relação aos lipídios, esse valor é cerca de três vezes maior. Esses resultados experimentais podem ser explicados pelos estados de oxidação dos átomos de carbono que compõem as moléculas. Sabendo que, quanto mais reduzida a substância, mais energia é liberada no rompimento de suas ligações químicas, justifique as diferenças de valor energético entre glicídios e lipídios com base nos nox do átomo de carbono central nos fragmentos de moléculas típicos dessas classes de substâncias, representados a seguir.



2. A identificação de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) em uma solução aquosa pode ser feita por reação de oxirredução. A adição de uma solução aquosa contendo íons hidrogênio (H^+) e íons permanganato (MnO_4^-) indica a presença de H_2O_2 pela mudança da coloração violeta para incolor. Sabendo que nessa transformação há formação de $Mn^{2+}(aq)$ e de $H_2O(\ell)$ e liberação de $O_2(g)$, faça o que se pede.

a. Indique qual espécie química atua como agente oxidante e qual atua como agente redutor. Justifique indicando as variações de nox.

b. Forneça a equação química balanceada que representa essa reação.

3. Ao fazer o balanceamento da equação química representada a seguir, um estudante propôs os coeficientes estequiométricos 1, 5 e 8 para os reagentes. Você concorda com esse estudante? Justifique sua resposta com base na quantidade de elétrons cedidos pela espécie que é oxidada e recebidos pela espécie que é reduzida.

$$KMnO_4(aq) + FeC\ell_2(aq) + HC\ell\,(aq) \rightarrow MnC\ell_2(aq) + FeC\ell_3(aq) + KC\ell\,(aq) + H_2O(\ell)$$

4. Os valores dos potenciais-padrão de redução a 25 °C de dois metais, X e Y, são apresentados a seguir, em módulo:

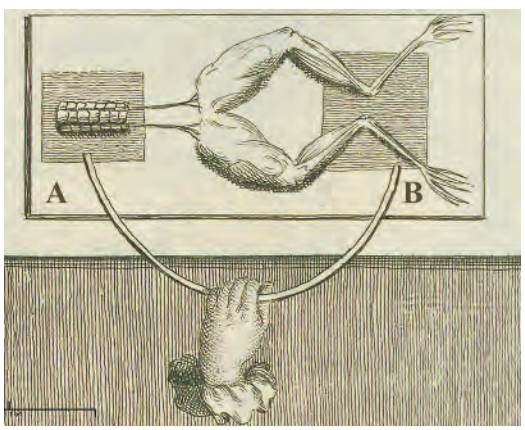
$$X^+(aq) + e^- \rightleftarrows X(s) \qquad |E^\circ| = 0{,}22\ V$$
$$Y^{2+}(aq) + 2\ e^- \rightleftarrows Y(s) \qquad |E^\circ| = 0{,}62\ V$$

Quando esses dois metais são ligados por um fio condutor, os elétrons fluem pelo circuito externo da semicélula que contém o eletrodo X para a semicélula que contém o eletrodo Y. Quando o eletrodo X é ligado ao eletrodo-padrão de hidrogênio (EPH), os elétrons fluem de X para o EPH.

a. Quais são os sinais dos valores de E° para cada uma das semirreações de redução?

b. Qual é o potencial-padrão de redução da pilha construída com os eletrodos X e Y?

5. A imagem a seguir é uma reprodução do experimento do médico italiano Luigi Galvani (1737-1798) publicada em 1792. Placas de metais diferentes (A e B), em contato com as pernas de uma rã e conectadas por um fio condutor, provocavam contrações nos músculos das pernas do animal em razão da passagem de corrente elétrica. 5. Alternativa **c**.



ETH - BIBLIOTECA DE ZURICH

Reprodução do experimento de Galvani publicado em 1792.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A primeira lei de Ohm afirma que corrente e tensão elétrica são grandezas diretamente proporcionais. Com base nisso, determine com qual dos pares de eletrodos a seguir seria possível conseguir, em tese, maior intensidade na contração das pernas do animal.

a. Ni/Cu
b. Fe/Cu
c. Aℓ/Cu
d. Sn/Cu
e. Zn/Cu

6. (Unesp) O ciclo do enxofre é fundamental para os solos dos manguezais. Na fase anaeróbica, bactérias reduzem o sulfato para produzir o gás sulfeto de hidrogênio. Os processos que ocorrem são os seguintes: 6. Alternativa **a**.

$$SO_4^{2-}(aq) \xrightarrow{\text{ação bacteriana}} S^{2-}(aq)$$

$$S^{2-}(aq) \xrightarrow{\text{meio ácido}} H_2S(g)$$

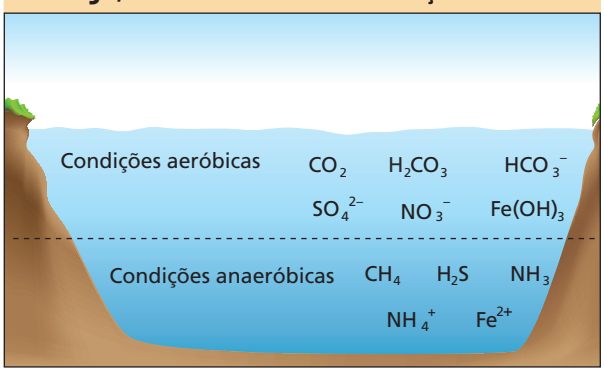
(**Fonte:** Gilda Schmidt. **Manguezal de Cananeia**, 1989. Adaptado.)

Na produção de sulfeto de hidrogênio por esses processos nos manguezais, o número de oxidação do elemento enxofre

a. diminui 8 unidades.
b. mantém-se o mesmo.
c. aumenta 4 unidades.
d. aumenta 8 unidades.
e. diminui 4 unidades.

7. Nos sistemas aquáticos, uma diversidade de reações de oxirredução tem grande importância para a manutenção da vida. Entre os gases dissolvidos na água, o O_2 é um dos mais importantes. Comumente, o gás oxigênio dissolvido (OD) é proveniente da atmosfera e do processo de fotossíntese. No entanto, há muitos fatores que contribuem para sua diminuição, entre eles a respiração celular e a decomposição da matéria orgânica (MO) presente nesses ecossistemas. A maior parte da MO tem origem biológica (plantas mortas e restos de animais), e sua composição apresenta essencialmente os elementos químicos C, H, O, N, P e S. A oxidação da MO tem como produtos principais a água e o dióxido de carbono. Note a ilustração a seguir.

Espécies químicas inorgânicas presentes em um lago, de acordo com as condições do meio



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em BAIRD, C. **Environmental Chemistry**. Nova York: W. H. Freeman and Company, 1995.

(Imagem sem escala; cores-fantasia.)

a. Explique por que o aumento da matéria orgânica diminui o valor de oxigênio dissolvido e qual é a consequência da diminuição de OD para os organismos aeróbicos.
b. Em quais condições (aeróbicas ou anaeróbicas) estão presentes as espécies de carbono, nitrogênio, enxofre e ferro mais oxidadas, ou seja, com maior nox? Explique sua resposta.

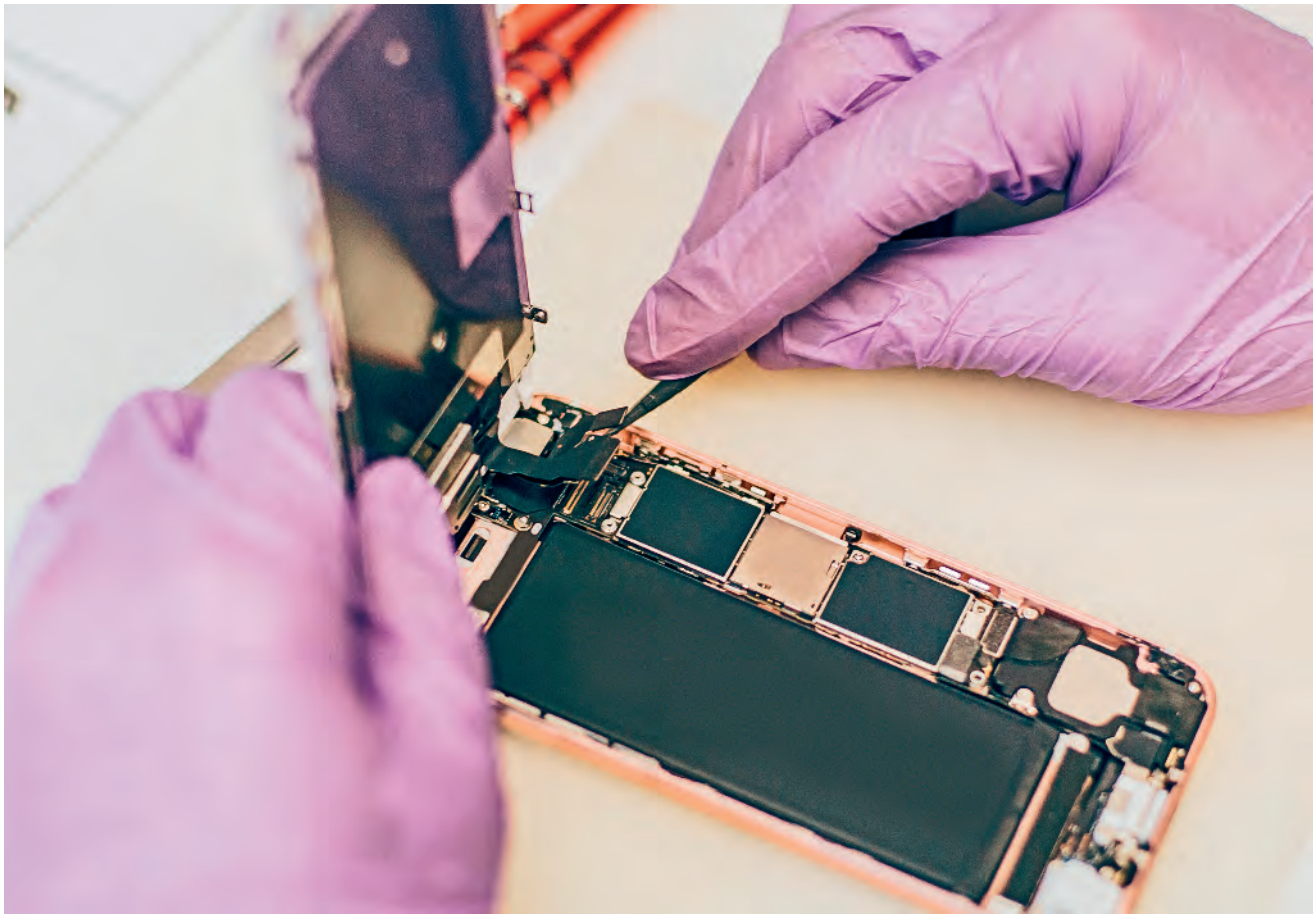
8. A tabela de **Potenciais-padrão de redução (E°_{red})** apresentada neste capítulo tem como base o eletrodo de hidrogênio, que, por convenção, teve seu valor definido como zero. Se a escala de potenciais de redução tivesse o eletrodo zinco como padrão, e, consequentemente, seu valor de redução igual a zero, quais seriam os valores dos potenciais de redução do hidrogênio, do cobre e do alumínio?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Capítulo 7

Pilhas e baterias comerciais

GURUXOX/SHUTTERSTOCK



Interior de um aparelho *smartphone*, onde é possível visualizar uma bateria.

Associações em série e em paralelo são abordadas no capítulo 22, no componente curricular de Física.

A rigor, o termo "pilha" designa dispositivos constituídos por dois eletrodos e eletrólitos arranjados de maneira que produzam energia elétrica, e o termo "bateria" refere-se a um conjunto de pilhas associadas em série ou em paralelo. Entretanto, no dia a dia, esses termos têm sido utilizados indistintamente para descrever **sistemas eletroquímicos** fechados e portáteis que armazenam energia.

Embora qualquer reação de oxirredução possa servir de base para construir pilhas, fabricá-las comercialmente, com dimensões e características de desempenho, requer certas especificidades. A bateria necessária para dar partida em um carro, por exemplo, deve fornecer 12 volts, e sua durabilidade média é de dois a três anos, dependendo dos dispositivos eletroeletrônicos ligados a ela. Já a bateria de um marca-passo deve ser capaz de fornecer uma tensão da ordem de milivolts por um longo período.

Vários tipos de pilha foram e ainda estão sendo criados para diversas finalidades. O desenvolvimento dessas fontes portáteis de energia, bem como os problemas ambientais associados a seu descarte inadequado, podem ser mais bem compreendidos por meio do estudo do funcionamento e dos materiais que as compõem, tema de estudo deste capítulo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Pilha de Daniell

Estimulado por pesquisas a respeito da fisiologia muscular e sua relação com a eletricidade realizadas pelo médico italiano Luigi Galvani (1737-1798) em meados de 1790, o físico italiano Alessandro Volta (1745-1827) realizou, em 1800, experimentos que levaram à construção do que é considerado por muitos o primeiro gerador eletroquímico capaz de produzir corrente elétrica contínua, apresentado na imagem ao lado.

GUIDOB/WIKIMEDIA FOUNDATION INC. – TEMPIO VOLTIANO, COMO

Protótipo da pilha de Volta, constituído por discos de metais diferentes empilhados, separados uns dos outros por pedaços de tecido encharcados em solução ácida, e discos terminais conectados por fios condutores.

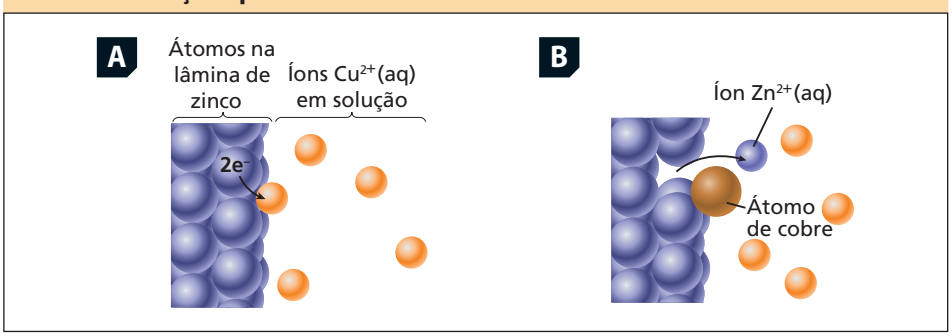
Embora Volta não tenha elaborado explicações teóricas para todos os fenômenos verificados em seu dispositivo – vale lembrar que os modelos atômicos vigentes à época não previam a existência de elétrons –, ele fez observações importantes. Por exemplo, Volta notou que a corrente elétrica obtida poderia ser maior ou menor dependendo do par de metais utilizados. Nesse sentido, a corrente elétrica será maior quanto maior fosse o número de discos metálicos empilhados e menor quando se utilizava água no lugar de solução eletrolítica entre os metais.

Os estudos de Volta estimularam outros pesquisadores a investigar a associação entre energia elétrica e reações químicas. Um deles foi o químico britânico John Frederic Daniell (1790-1845), que desenvolveu, em 1836, um dispositivo gerador de eletricidade mais eficiente, que ficou conhecido como **pilha de Daniell**. A equação química global que representa o processo que ocorre nesse dispositivo é:

$$Zn(s) + Cu^{2+}(aq) \rightleftarrows Cu(s) + Zn^{2+}(aq)$$

Segundo o entendimento atual, nessa reação química ocorre transferência de elétrons entre os átomos de zinco, Zn, e os íons de cobre, Cu^{2+}, como representado na imagem a seguir. Mas como essa reação pode fornecer eletricidade aproveitável, considerando que os elétrons se transferem diretamente do zinco para o cobre?

Reação química entre a lâmina de zinco e íons de cobre



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborada com base em BROWN, T. L. *et al*. **Química**: a Ciência central. Tradução: Eloiza Lopes, Tiago Jonas e Sonia M. Yamamoto. 13. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2016.

Representação esquemática da reação entre Zn(s) e $Cu^{2+}(aq)$ em nível atômico. Em **(A)**, o íon $Cu^{2+}(aq)$ entra em contato com a lâmina de zinco e recebe dois elétrons provenientes de um átomo de zinco; o íon $Cu^{2+}(aq)$ é reduzido e o átomo de zinco é oxidado. Em **(B)**, o íon $Zn^{2+}(aq)$ resultante da transferência de elétrons passa para a solução, e o átomo de cobre se deposita na lâmina. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

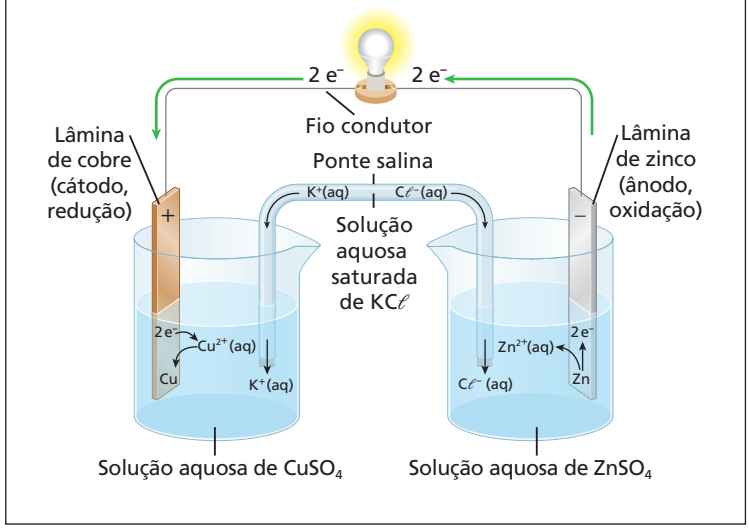
Se necessário, revise com os estudantes os conceitos sobre oxirredução estudados no capítulo anterior. Chame a atenção para o fato de que os elétrons transferidos não aparecem nas equações químicas globais.

O fornecimento de eletricidade aproveitável é possível devido à corrente elétrica que circula pelos circuitos do dispositivo. Em vez de os elétrons se deslocarem em direção à espécie a ser reduzida, esse fluxo de elétrons pode ser utilizado para alguma utilidade, como acender uma lâmpada. Atualmente, a corrente elétrica é definida como um fluxo de elétrons que pode realizar trabalho. A imagem a seguir representa como é possível aproveitar a eletricidade em uma pilha de Daniell.

Comente que, além da corrente elétrica, outra evidência de transformação química nesse sistema é o descoramento da solução aquosa de $CuSO_4$ à medida que os íons Cu^{2+} são reduzidos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Pilha de Daniell



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborada com base em BROWN, T. L. *et al*. **Química**: a Ciência central. Tradução: Robson Matos. 9. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

Representação esquemática da pilha de Daniell detalhando os processos de oxidação do Zn(s) e da redução dos íons Cu^{2+} e a migração dos íons K^+ e $C\ell^-$ pela ponte salina. A lâmpada acesa é uma evidência da passagem de corrente elétrica. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Na pilha de Daniell, uma lâmina ou placa de zinco é mergulhada em uma solução aquosa de íons $Zn^{2+}(aq)$ – provenientes de um sal de zinco solúvel, como sulfato de zinco ($ZnSO_4$) – e, em um compartimento separado, uma placa de cobre é mergulhada em uma solução aquosa de íons $Cu^{2+}(aq)$ – por exemplo, sulfato de cobre(II), $CuSO_4$ –, sendo ambas conectadas por fios condutores.

Os potenciais-padrão de redução do zinco e do cobre são –0,76 V e +0,34 V, respectivamente. Como o cobre apresenta maior potencial de redução que o zinco, o cobre será reduzido e o zinco será oxidado. O **polo negativo** é, por definição, o eletrodo de zinco (ânodo), local em que ocorre a oxidação do zinco metálico. Já o **polo positivo** é, também por definição, o eletrodo de cobre (**cátodo**), local em que ocorre a redução dos íons cobre, conforme representado pelas semirreações a seguir. Um fio condutor elétrico conecta os dois polos e permite o fluxo espontâneo de elétrons do polo negativo para o polo positivo da pilha.

Ânodo (semirreação de oxidação): $Zn(s) \rightleftarrows Zn^{2+}(aq) + 2\ e^-$

Cátodo (semirreação de redução): $Cu^{2+}(aq) + 2\ e^- \rightleftarrows Cu(s)$

À medida que o zinco metálico é oxidado no ânodo, os elétrons disponíveis migram pelo circuito externo até o cátodo, produzindo corrente elétrica. Nesse processo também ocorre a redução dos íons $Cu^{2+}(aq)$.

Conforme a reação ocorre, a concentração de íons $Zn^{2+}(aq)$ na solução aumenta, gerando excesso de cargas positivas nesse meio. Em contrapartida, a redução dos íons $Cu^{2+}(aq)$ para cobre metálico diminui a concentração desses íons e causa o acúmulo de cargas negativas, provenientes dos íons $SO_4^{2-}(aq)$ presentes na solução. Quando isso ocorre, a pilha para de funcionar em virtude do desequilíbrio de cargas.

Esse acúmulo de cargas elétricas nas soluções é evitado com a **ponte salina**, dispositivo em forma de U invertido preenchido com uma solução concentrada de um sal (por exemplo, cloreto de potássio, $KC\ell$) que não contenha os íons em solução e não reaja com essas espécies químicas ou com os eletrodos. O excesso de cargas positivas na solução de sulfato de zinco é compensado pela migração de ânions provenientes da ponte salina ($C\ell^-(aq)$, por exemplo), e o excesso de cargas negativas na solução de sulfato de cobre(II) é compensado pela migração de cátions ($K^+(aq)$, por exemplo). Assim, a presença da ponte salina mantém a neutralidade elétrica das soluções e permite que a pilha continue funcionando.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

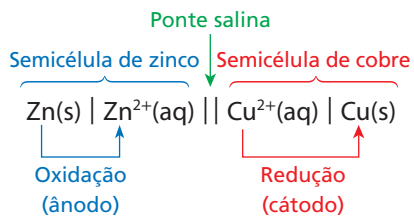
Observe que parte do circuito elétrico da pilha de Daniell não é formada por condutores metálicos, e sim por **soluções eletrolíticas**. Assim, o circuito fechado consiste basicamente em duas partes: uma externa, formada por fios condutores, e uma interna, na qual a corrente elétrica que atravessa as soluções aquosas é formada por um fluxo ordenado de cátions e ânions.

A montagem em que a reação química de oxirredução ocorre é denominada **célula eletroquímica**. No caso das reações químicas que acontecem espontaneamente, as células são chamadas especificamente de **células galvânicas** ou **células voltaicas** (em homenagem a Galvani e Volta por seus estudos nessa área), ou, simplesmente, **pilhas**.

As pilhas e as baterias comercializadas hoje, como as alcalinas, não utilizam cobre como eletrodo nem têm ponte salina constituída por um líquido. Embora elas possam ser constituídas de materiais diversos, como estudaremos adiante, seu princípio de funcionamento é o mesmo que o de uma pilha de Daniell, ou seja, elas fornecem energia elétrica por meio de uma reação espontânea de oxirredução em que uma espécie química se oxida perdendo elétrons para uma espécie química que se reduz.

Representação esquemática para uma pilha

Para representar uma pilha sem precisar desenhá-la, a IUPAC padronizou uma maneira de escrevê-la de forma simbólica, denominada **diagrama de célula**. Utilizando como exemplo a pilha de Daniell, tem-se:



As barras verticais simples indicam as interfaces que separam cada eletrodo da solução eletrolítica, enquanto a barra vertical dupla representa a ponte salina. Primeiro, representa-se o ânodo, separando por uma barra simples a espécie que se oxida da espécie resultante da oxidação. Depois da barra dupla, representa-se o cátodo, separando por barra simples a espécie que se reduz da espécie resultante da redução.

Diferença de potencial da pilha

A diferença de potencial elétrico (ou ddp) existente entre os eletrodos promove a movimentação espontânea dos elétrons pelo condutor e a movimentação dos íons na solução: quanto maior a ddp, maior o trabalho realizado. Esse trabalho faz os equipamentos que a pilha alimenta funcionarem. A espontaneidade pode ser prevista utilizando a equação química a seguir, em que, por convenção, utilizam-se os potenciais-padrão de redução ($E°_{red}$) dos processos de redução e de oxidação a serem analisados, nas condições-padrão.

$$E°_{pilha} = E°_{red}(\text{cátodo}) - E°_{red}(\text{ânodo})$$

Considerando a pilha de Daniell, vamos comparar a semicélula de zinco com a de cobre com base nos valores de potenciais-padrão de redução, que podem ser consultados na tabela presente no capítulo 6.

$$E°_{pilha} = E°_{red}(\text{cátodo}) - E°_{red}(\text{ânodo})$$
$$E°_{pilha} = E°_{red}(Cu^{2+}/Cu) - E°_{red}(Zn^{2+}/Zn)$$
$$E°_{pilha} = +0{,}34\,V - (-0{,}76\,V) = +1{,}10\,V$$

Nota-se que o potencial-padrão de redução do cobre é maior que o do zinco e que a diferença de potencial, nas condições-padrão, entre as semicélulas é de +1,10 V. A ddp positiva reflete a espontaneidade do processo observado na pilha de Daniell nas condições-padrão.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADE COMENTADA

Escreva as equações das semirreações de oxidação e de redução, a equação química global e o potencial de uma pilha formada por uma semicélula de prata, uma solução de nitrato de prata, uma semicélula de zinco e uma solução de nitrato de zinco. Demonstre por meio de cálculos que a pilha funcionará efetivamente e de forma espontânea. Considere os potenciais de redução da prata e do zinco iguais a +0,8 V e –0,76 V, respectivamente.

Analisar o enunciado

A questão propõe a representação, por meio de equações químicas, dos processos que ocorrem em uma pilha com prata e zinco.

Selecionar as informações relevantes

Os potenciais de redução da prata e do zinco são as informações fundamentais para determinar o papel de cada um desses materiais na pilha. Devemos sempre considerar que o metal com o maior potencial de redução (Ag, +0,8 V) será reduzido no cátodo, enquanto o metal com o menor potencial de redução (Zn, –0,76 V) será oxidado no ânodo. Dessa forma, a reação de oxirredução produzirá um fluxo de elétrons que percorrerá o fio que une os eletrodos da pilha.

Aplicar o conceito estudado

Podemos iniciar escrevendo as equações químicas que ocorrem no cátodo (polo +) e no ânodo (polo –):

Cátodo: $Ag^+(aq) + 1\ e^- \rightarrow Ag(s)$

Note que, nessa semirreação de redução, cada íon prata ganha um elétron.

Ânodo: $Zn(s) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + 2\ e^-$

Note que, nessa semirreação de oxidação, cada átomo de zinco perde dois elétrons.

Em seguida, é necessário balancear as semirreações para garantir que o número de elétrons transferidos na semirreação anódica seja igual ao número de elétrons recebidos na semirreação catódica. Para isso, multiplicamos a semirreação de redução de prata por 2:

Cátodo (semirreação de redução): $2\ Ag^+(aq) + 2\ e^- \rightarrow 2\ Ag(s)$

Ânodo (semirreação de oxidação): $Zn(s) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + 2\ e^-$

Agora, combinamos as equações balanceadas das semirreações e definimos a equação da reação global da pilha. Observe que os elétrons se cancelam na reação global:

Semirreação de redução: $2\ Ag^+(aq) + \cancel{2\ e^-} \rightarrow 2\ Ag(s)$

Semirreação de oxidação: $Zn(s) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + \cancel{2\ e^-}$

Equação global da pilha: $Zn(s) + 2\ Ag^+(aq) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + 2\ Ag(s)$

Para calcular o potencial da pilha ($E°_{pilha}$), basta subtrair do potencial de redução do cátodo o potencial de redução do ânodo:

$$E°_{pilha} = E°_{red}(cátodo) - E°_{red}(ânodo)$$

$$E°_{pilha} = (+0{,}8\ V) - (-0{,}76\ V)$$

$$E°_{pilha} = +1{,}56\ V$$

Verificar a solução

O potencial da pilha é de +1,56 V. Isso significa que é uma pilha eletroquímica espontânea, pois o potencial da pilha é positivo. A reação ocorre de forma que o zinco seja oxidado a íons Zn^{2+} e a prata seja reduzida a átomos de prata Ag^0.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

1. Uma pilha é montada nas condições padronizadas com um eletrodo de cobre e outro de prata.

Dados: $E°_{red}$ (Cu^{2+}/Cu) = +0,34 V; $E°_{red}$ (Ag^{+}/Ag) = +0,80 V

Com base nessas informações, responda:

a. Qual é o polo negativo dessa pilha?

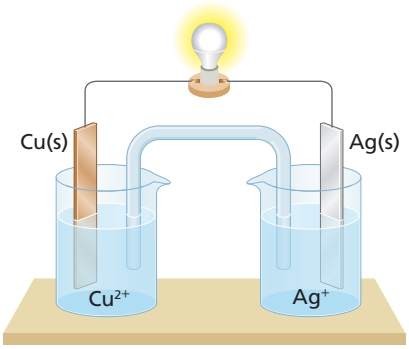
b. Qual é o polo positivo dessa pilha?

c. Qual é a equação da semirreação anódica dessa pilha?

d. Qual é a equação da semirreação catódica dessa pilha?

e. Qual é a equação da reação global dessa pilha?

f. Em que sentido se estabelece o fluxo de elétrons no fio condutor dessa pilha?



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

(Imagem sem escala; cores-fantasia.)

2. A tensão fornecida por uma pilha formada por magnésio e um metal *X* é de 2,24 V. Nessa pilha, o magnésio metálico é consumido, enquanto *X* metálico se deposita no eletrodo. Sabendo que o potencial de redução do magnésio (Mg^{2+}/Mg) é de –2,37 V, responda:

a. Qual é o valor do potencial de oxidação do metal *X*?

b. Consultando a tabela de potenciais-padrão de redução (presente no capítulo 6), é possível identificar o metal *X*. Qual é esse metal?

Pilhas e baterias primárias

Os geradores eletroquímicos cujos reagentes não podem ser regenerados, ou seja, nos quais a diferença de potencial diminui com o uso até chegar a zero, são denominados **pilhas e baterias primárias**.

Pilha seca (pilha comum)

A pilha seca foi desenvolvida em 1866 pelo engenheiro francês Georges Leclanché (1839-1882). A figura mostra as partes constituintes dessa pilha.

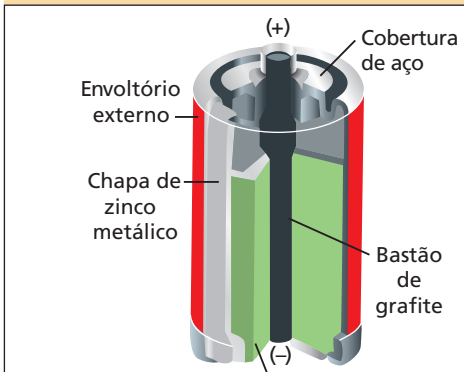
Essa pilha apresenta algumas desvantagens em sua utilização. Uma delas é a deterioração do revestimento de zinco metálico, que causa vazamento do material interno da pilha e danifica o aparelho eletroeletrônico. Por isso, nessas pilhas são adicionadas pequenas quantidades de sais de mercúrio e outros aditivos capazes de minimizar a oxidação do zinco. Outro problema diz respeito à toxicidade. Além dos sais de mercúrio, em algumas dessas pilhas secas o eletrodo consiste em uma liga de zinco, cádmio e chumbo utilizada para obter propriedades mecânicas adequadas. Segundo a Resolução nº 401/2008, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama), as pilhas secas devem atender aos seguintes limites máximos (em massa): 0,0005% de mercúrio, 0,002% de cádmio e 0,1% de chumbo.

A pilha seca fornece uma dpp de cerca de 1,5 V. Os processos envolvidos em seu funcionamento são complexos; no entanto, suas semirreações principais podem ser representadas da seguinte forma:

Ânodo: $Zn(s) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + 2\ e^-$

Cátodo: $2\ MnO_2(s) + 2\ NH_4^+(aq) + 2\ e^- \rightarrow Mn_2O_3(s) + 2\ NH_3(g) + H_2O(\ell)$

Pilha seca



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborada com base em BOCCHI, N.; FERRACIN, L. C.; BIAGGIO, S. R. Pilhas e baterias: funcionamento e impacto ambiental. **Química Nova na Escola**, n. 11, 2000.

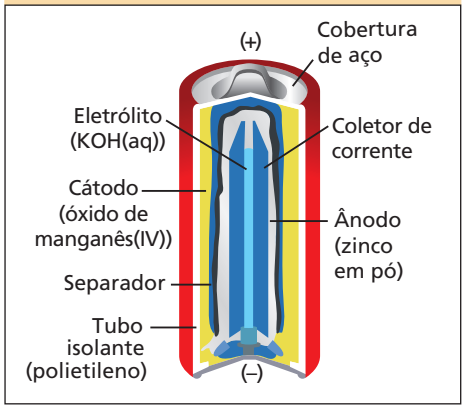
Esquema simplificado em corte de uma pilha de Leclanché. Seu funcionamento cessa quando todo o óxido de manganês(II), MnO_2, é convertido em óxido de manganês(III), Mn_2O_3. A pasta úmida funciona tanto como ponte salina quanto como fonte de eletrólito. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Pilha alcalina

A pilha alcalina, representada na imagem a seguir, foi introduzida no mercado em meados do século XX. Esse tipo de pilha é uma versão modificada da pilha seca, pois utiliza óxido de manganês(IV) como cátodo e zinco em pó como ânodo e contém uma solução concentrada de hidróxido de potássio (KOH) – cerca de 30% em massa. Por essa razão, é denominada **pilha alcalina**. Para garantir melhor vedação e evitar o vazamento da solução, a pilha é revestida com uma chapa de aço.

Pilha alcalina



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborada com base em BOCCHI, N.; FERRACIN, L. C.; BIAGGIO, S. R. Pilhas e baterias: funcionamento e impacto ambiental. **Química Nova na Escola**, n. 11, 2000.

Esquema simplificado em corte de uma pilha alcalina. Essa pilha fornece uma ddp de cerca de 1,5 V, ou seja, a mesma tensão elétrica da pilha de Leclanché. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Esse tipo de pilha apresenta maior vida útil que a pilha seca, porque não forma gás durante a ocorrência das reações. No entanto, o processo de obtenção do hidróxido de potássio utilizado em sua composição aumenta os custos de fabricação e, portanto, seu preço final. Dessa forma, dependendo da aplicação, a pilha seca ainda pode ser uma opção de melhor custo-benefício para o consumidor. Em contraponto, as pilhas alcalinas representam menor risco do ponto de vista ambiental.

As semirreações envolvidas no processo de geração de energia elétrica pela pilha alcalina são descritas pelas equações químicas a seguir.

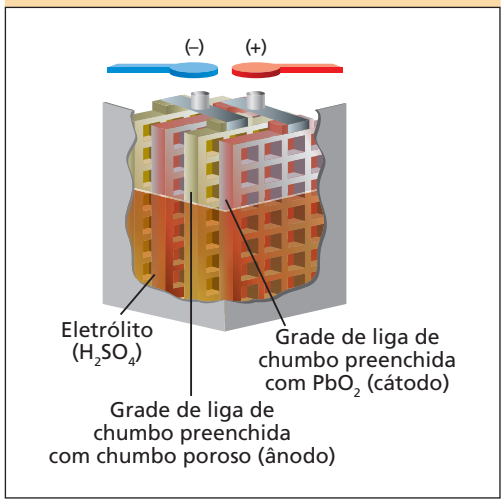
Ânodo: $Zn(s) + 2\ OH^-(aq) \rightarrow Zn(OH)_2(s) + 2\ e^-$

Cátodo: $2\ MnO_2(s) + 2\ H_2O(\ell) + 2\ e^- \rightarrow 2\ MnO(OH)(s) + 2\ OH^-(aq)$

Pilhas e baterias secundárias

Algumas pilhas e baterias podem ser recarregadas e reutilizadas; nesse caso, são chamadas **pilhas** e **baterias secundárias**. A vantagem desses dispositivos é o fato de eles apresentarem uma vida útil maior que os dispositivos não recarregáveis.

Bateria de PbO_2



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Bateria de chumbo-óxido de chumbo(IV)

Esse gerador tem origem no sistema recarregável construído em 1859 pelo físico francês Gaston Planté (1834-1889). Ele consiste em um arranjo de seis pilhas conectadas em série, cada uma produzindo 2 V de tensão, resultando em uma ddp total de 12 V. Cada pilha é constituída de um cátodo de óxido de chumbo(IV), PbO_2, e um ânodo de chumbo poroso, como representado na imagem. Os eletrodos estão imersos em solução aquosa de ácido sulfúrico (30% a 35% em massa), no caso das baterias não seladas, ou separados por um material isolante embebido nessa solução, no caso das baterias seladas.

Fonte: elaborada com base em BROWN, T. L. *et al*. **Química**: a Ciência central. Tradução: Eloiza Lopes, Tiago Jonas e Sonia M. Yamamoto. 13. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2016.

Esquema simplificado em corte de uma bateria de chumbo-óxido de chumbo(IV) utilizada em automóveis. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Comente com os estudantes que a grade é feita de uma liga de chumbo, e não de chumbo metálico, principalmente para que o material tenha maior resistência mecânica.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

As baterias de chumbo são responsáveis pela ignição e pelo funcionamento da parte elétrica dos automóveis e de alguns motores elétricos; elas também são encontradas em *nobreaks*.

Entre os potenciais problemas ambientais associados a esse tipo de bateria está o lançamento de óxidos de enxofre (SO_x) e chumbo particulado na atmosfera quando ele é incinerado. A legislação proíbe tanto o descarte dessas baterias em aterros sanitários quanto sua incineração.

As principais semirreações envolvidas nesse tipo de bateria são descritas pelas equações químicas a seguir. Note que ambas as semirreações formam o mesmo produto sólido, o sulfato de chumbo(II).

Ânodo: $Pb(s) + HSO_4^-(aq) \rightarrow PbSO_4(s) + H^+(aq) + 2\ e^-$

Cátodo: $PbO_2(s) + 3\ H^+(aq) + HSO_4^-(aq) + 2\ e^- \rightarrow PbSO_4(s) + 2\ H_2O(\ell)$

Baterias de níquel-cádmio e níquel-hidreto metálico

O crescimento da utilização de dispositivos eletroeletrônicos portáteis tem aumentado a demanda por baterias leves e rapidamente recarregáveis. Uma das baterias com essas características é a de níquel-cádmio (NiCd), desenvolvida em 1899 pelo engenheiro sueco Ernst Waldemar Jungner (1869-1924). Durante a descarga, o cádmio metálico é oxidado no ânodo da bateria, formando hidróxido de cádmio(II), $Cd(OH)_2$, enquanto o hidróxido(óxido) de níquel(III), NiO(OH), é reduzido no cátodo, formando hidróxido de níquel(II) hidratado ($Ni(OH)_2 \cdot H_2O$). Esse processo é realizado em meio alcalino, em função da presença de solução aquosa de hidróxido de potássio (20% a 28% em massa). Cada pilha individual fornece cerca de 1,30 V e, em geral, elas são associadas em série.

Ânodo: $Cd(s) + 2\ OH^-(aq) \rightarrow Cd(OH)_2(s) + 2\ e^-$

Cátodo: $2\ NiO(OH)(s) + 4\ H_2O(\ell) + 2\ e^- \rightarrow 2\ Ni(OH)_2 \cdot H_2O(s) + 2\ OH^-(aq)$

Uma das principais desvantagens da utilização dessas baterias é a presença de cádmio em sua composição, o que torna seu descarte em aterros sanitários ou sua incineração proibidos. Por isso, elas devem ser encaminhadas aos fornecedores, assim como as baterias de chumbo-óxido de chumbo(IV). O problema ambiental começou a ser minimizado com o desenvolvimento de baterias de níquel-hidreto metálico (NiMH) na década de 1980, as quais geram uma ddp de cerca de 1,35 V.

A reação no cátodo dessas baterias é a mesma que ocorre nas baterias NiCd, mas a reação no ânodo é muito diferente. O ânodo consiste em uma liga metálica (M) com capacidade de se associar a átomos de hidrogênio (H) em sua superfície, levando à formação de um hidreto metálico (M^+H^-).

Ânodo: $MH(s) + OH^-(aq) \rightarrow M(s) + H_2O(\ell) + e^-$

Cátodo: $2\ NiO(OH)(s) + 2\ H_2O(\ell) + e^- \rightarrow Ni(OH)_2 \cdot H_2O(s) + OH^-(aq)$

O quadro a seguir apresenta uma comparação de algumas propriedades que as baterias de níquel-cádmio e níquel-hidreto apresentam.

Comparação entre as baterias de NiCd e NiMH

Custo de produção	As baterias NiMH têm alto custo de produção em relação às baterias NiCd.
Armazenagem de carga	A energia fornecida por massa de material é maior nas baterias NiMH.
Temperatura	Ambas operam na faixa de –20 °C a 45 °C, sendo que as baterias de NiMH são mais eficientes entre 15 °C e 20 °C, e as baterias de NiCd na faixa de 30 °C a 36 °C.
Ciclos de carga e descarga	Ambas suportam de 400 a 500 ciclos com perda de 20% da capacidade de carga.

Fonte: elaborado com base em LINDEN, D.; REDDY, T. B. **Handbook of batteries**. 3rd. ed. New York: McGraw-Hill, 2001.

Baterias de íon-lítio

A bateria de íon-lítio (Li-ion, na simbologia em inglês) é uma das mais modernas utilizadas nos aparelhos eletroeletrônicos portáteis. Entre outros fatores, seu desenvolvimento foi estimulado pela baixa densidade do lítio em comparação à densidade do níquel, o que permite produzir baterias mais leves. Esse trabalho garantiu o Prêmio Nobel de Química de 2019 aos cientistas Akira Yoshino (1948-), John Goodenough (1922-2023) e Michael Whittingham (1941-).

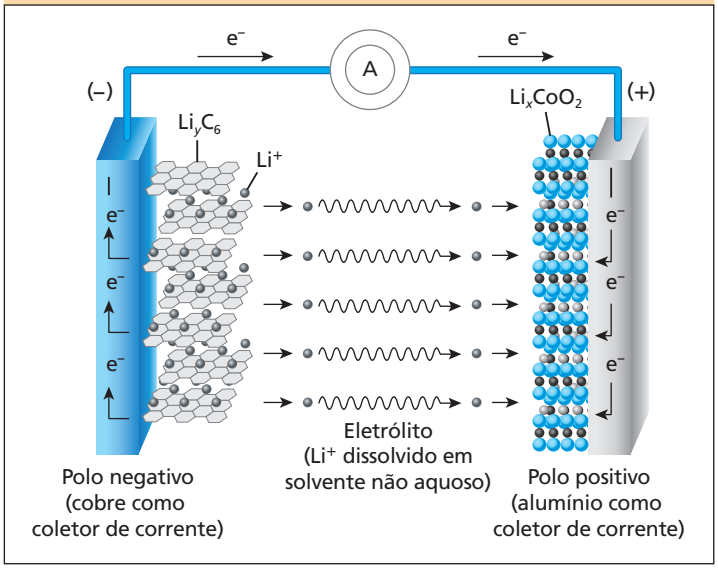
Verifique a compreensão dos estudantes acerca da representação do hidróxido de níquel(II) hidratado. Se julgar conveniente, comente apenas que essa água é denominada água de hidratação (ou de cristalização) e está associada ao sólido em uma estequiometria definida e característica.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O funcionamento da bateria de íon-lítio tem como base a capacidade de os íons Li^+ serem inseridos e removidos reversivelmente de certos sólidos com estruturas lamelares. Tais estruturas, que apresentam átomos dispostos em planos (lâminas), são obtidas por meio da nanotecnologia.

Observe a figura, que representa esse tipo de bateria. Note que o ânodo é formado por uma associação de grafite com cobre metálico e que os íons se intercalam entre os planos de estruturas hexagonais de carbono, formando a espécie representada por Li_yC_6. A saída dos íons corresponde à oxidação do eletrodo, enquanto os íons lítio migram por meio de um eletrólito não aquoso, Li^+(solv.), até o polo positivo, onde se intercalam na estrutura de um óxido de cobalto, por exemplo, e lítio (Li_xCoO_2). Essa intercalação provoca a redução do cátion Co^{3+} do óxido.

Bateria de íon-lítio



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: BOCCHI, N.; FERRACIN, L. C.; BIAGGIO, S. R. Pilhas e baterias: funcionamento e impacto ambiental. **Química Nova na Escola**, n. 11, 2000.

Esquema simplificado do processo de descarga de uma bateria de íon-lítio. Essa bateria apresenta uma ddp entre 3,0 V e 3,5 V. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

As reações químicas que ocorrem na bateria de íon-lítio podem ser representadas como segue.

Ânodo: $Li_yC_6(s) \rightarrow C_6(s) + y\,Li^+(solv.) + y\,e^-$

Cátodo: $Li_xCoO_2(s) + y\,Li^+(solv.) + y\,e^- \rightarrow Li_{(x+y)}CoO_2(s)$

Assim como as baterias de níquel-hidreto metálico, as baterias de íon-lítio representam riscos ambientais menores que as baterias de níquel-cádmio e, por isso, devem ser escolhidas sempre que possível. Devido ao seu desempenho, as baterias de íon-lítio podem ser utilizadas em carros elétricos, que apresentam uma demanda energética alta em comparação à demanda de dispositivos portáteis. A substituição da fonte de energia dos automóveis é uma alternativa para a redução do uso de combustíveis fósseis e a consequente minimização dos efeitos nocivos associados à queima desses combustíveis.

Fique por dentro

Prêmio Nobel de Química de 2019: láurea pelo desenvolvimento das baterias de íons lítio

BOCCHI, N., BIAGGIO, S. R., ROCHA-FILHO, R. C. Prêmio Nobel de Química de 2019: láurea pelo desenvolvimento das baterias de íons lítio. **Química Nova na Escola**, v. 41, n. 4, 2019. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc41_4/03-AQ-76-19.pdf. Acesso em: 8 jun. 2024.

O artigo apresenta um pouco do trabalho dos laureados pelo Prêmio Nobel de Química de 2019 com as baterias de íons de lítio, amplamente utilizadas em aparelhos eletrônicos portáteis, como os celulares.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

NA PRÁTICA Construção e associação de pilhas

Nesta atividade serão construídas pilhas utilizando materiais não convencionais, como limões, pregos e moedas, e, em seguida, serão investigadas algumas propriedades das pilhas com as associações em série e em paralelo, bem como a relação entre a pilha construída e a pilha de Daniell.

OBJETIVO

Montar uma pilha usando materiais não convencionais e verificar a variação do diferencial de potencial elétrico da pilha com associações em série e em paralelo. Comparar a montagem tradicional da pilha de Daniell com a montagem alternativa desse experimento.

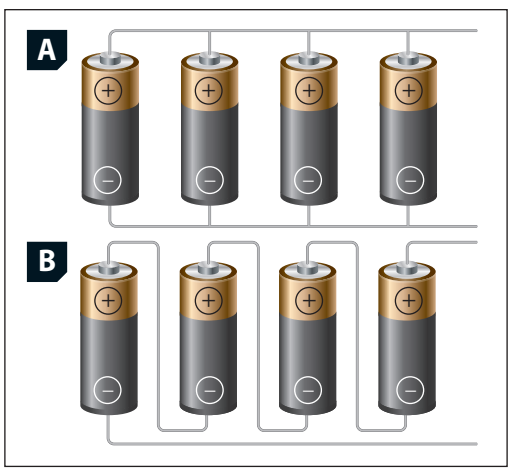
MATERIAL

- Uma esponja de aço nova
- Quatro pregos ou parafusos de zinco (galvanizados) de aproximadamente 4 centímetros
- Quatro moedas de cobre (R$ 0,05)
- Quatro limões previamente cortados pelo professor
- Dez conectores pequenos, do tipo jacaré, com fio
- Um multímetro

Placas de zinco podem ser obtido de pilhas alcalinas que seriam descartadas.

PREPARE-SE!

Existem dois tipos de associação de pilha: em paralelo (A) e em série (B), conforme ilustração a seguir.



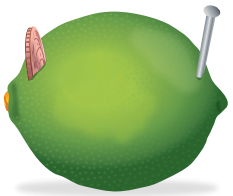
LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Qual é a influência da associação em série e em paralelo na diferença de potencial? Em que tipo de aparelhos devemos utilizar uma associação ou outra?

PROCEDIMENTO

Somente o professor deverá ligar o multímetro. O suco de limão, em contato com a pele exposta ao sol, pode causar queimaduras. Recomenda-se lavar as mãos após manusear a fruta.

- Esfregue, com a esponja de aço, os pregos ou parafusos de zinco e as moedas de cobre até o surgimento do brilho metálico característico.
- Pegue um dos limões e insira um prego próximo de uma das extremidades. Como o professor terá cortado previamente os limões, insira nesse corte uma moeda e, na outra extremidade do limão, a cerca de 2 cm de distância entre os dois objetos, o prego (ou parafuso), como na imagem.



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

- Repita o procedimento anterior com os outros três limões.
- Com apenas um limão, usando os conectores do tipo jacaré, conecte a moeda de cobre a uma das extremidades do multímetro e o prego à outra extremidade do multímetro. Meça a diferença de potencial obtida e a corrente elétrica. Peça ajuda ao professor para o uso do multímetro.
- Usando os conectores do tipo jacaré com fio, conecte uma moeda de cobre de um dos limões a um prego de zinco de outro limão, e assim sucessivamente, até conectar todas as moedas e todos os pregos em uma associação em série.
- Desconecte os conectores do tipo jacaré e faça uma associação em paralelo, como mostra o esquema. Repita o procedimento de medida da diferença de potencial (ddp) e da corrente elétrica utilizando o multímetro.

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Compartilhe suas observações e discuta com os colegas as questões a seguir. Consulte a tabela **Potenciais-padrão de redução ($E°_{red}$)** presente no capítulo 6, quando for necessário.

1. Em qual associação (em série ou em paralelo) foi detectada a maior diferença de potencial (ddp)? E a maior corrente elétrica?
2. Uma bateria de automóvel funciona com diferença de potencial de 12 V. Indique qual associação (em série ou em paralelo) montada no experimento é mais adequada para obter uma ddp de 12 V e determine quantos limões, pregos e moedas seriam necessários para atingir esse objetivo.
3. Considerando que o suco do limão apresenta caráter ácido, indique qual componente da pilha de limão é o cátodo e qual é o ânodo. Equacione a semirreação de oxidação, a semirreação de redução e a reação global da pilha construída. Por que a reação global de uma pilha de limão e a da pilha de Daniell são diferentes, mesmo sendo empregados eletrodos de cobre e zinco em ambos os casos?
4. Calcule o valor da ddp da pilha formada por um limão em condições-padrão. Caso o valor não coincida com o medido, explique a diferença observada.
5. Qual é o papel do limão no experimento?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Durabilidade e descarte de pilhas e baterias

Por que as pilhas, mesmo as recarregáveis, deixam de funcionar após algum tempo?

A geração de energia elétrica nas pilhas apresenta um fator limitante: os eletrodos são consumidos ao longo do tempo até praticamente se esgotarem. Esse consumo contínuo reduz a diferença de potencial elétrico entre os eletrodos até o instante em que a pilha deixa de fornecer a energia necessária para fazer os aparelhos eletroeletrônicos funcionarem.

As pilhas e baterias secundárias têm vida útil limitada, pois, devido principalmente às reações secundárias que formam substâncias indesejáveis, o processo de recarga não ocorre com 100% de eficiência.

O descarte inadequado de pilhas e baterias, recarregáveis ou não, polui o solo e os lençóis freáticos, comprometendo o uso desses recursos no abastecimento de água potável e na produção de alimentos. Muitos dos resíduos desses dispositivos contêm metais potencialmente tóxicos, como mercúrio, chumbo, cádmio e níquel, os quais são bioacumulativos, ou seja, são metais que são absorvidos por organismos por meio da ingestão de água e alimentos contaminados e a concentração desses poluentes aumenta progressivamente ao longo da cadeia trófica, ou seja, uma série de organismos interconectados, representando a transferência de energia em um ecossistema, onde cada organismo serve de alimento para o próximo. Portanto, elas jamais devem ser descartadas em lixo comum, para evitar a contaminação do ambiente por vazamentos.

As pilhas e baterias devem ser recolhidas em pontos de coleta especializados, que incluem estabelecimentos que comercializam esses produtos, assistências técnicas autorizadas e importadores. Além dos benefícios ambientais, esse sistema de **logística reversa** reduz a necessidade de importação ou extração de material para a produção de novos dispositivos.

Os fabricantes de pilhas e baterias devem informar aos consumidores, de forma clara e visível, em língua portuguesa ou com a simbologia padronizada, que o descarte não deve ser feito em lixo comum (figura A). Caso os fabricantes adotem sistemas de reciclagem, podem também informá-los por meio de simbologia apropriada (figura B). O consumidor também deve ser advertido sobre os riscos que o uso e o descarte inadequados podem causar ao ambiente e à saúde (figura C). Além disso, os fabricantes são incentivados a promover campanhas de educação ambiental e informativas que ajudem a população a seguir os procedimentos de descarte adequados.

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

FABIO YOSHIHITO MATSUURA/MOSAICO FOTOGRAFIA

(A) Símbolo utilizado para indicar que pilhas e baterias não devem ser descartadas em lixo comum. **(B)** Símbolo de reciclagem. **(C)** Bateria de íon-lítio em que se observam as informações técnicas do dispositivo, além do texto sobre os riscos ambientais e à saúde.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

3. Sabendo que a pilha alcalina gera uma ddp de 1,5 V e que o potencial de redução do Zn^{2+}/Zn é de –0,76, determine o potencial-padrão de redução da reação catódica.

4. Qual dos materiais a seguir poderia ser utilizado como condutor de corrente em uma pilha alcalina: grafite, madeira ou plástico comum? Justifique.

5. Os *smartphones* fazem parte do cotidiano de muitas pessoas e um dos problemas enfrentados pelos usuários é a falta de bateria: com o uso intenso, muitas vezes no final do dia a bateria acaba. Enquanto as atuais baterias de íon-lítio requerem algumas horas para sua recarga completa e resistem a cerca de 1.000 ciclos de recarga completos, já foram desenvolvidas baterias de alumínio e um tipo de grafite que resistem a mais de 7.500 ciclos de recarga. Outro destaque é o tempo de recarga: apenas 1 minuto. Por essa razão, esses dispositivos foram chamados de **bateria ultrarrápida**.

A seguir estão apresentadas de maneira simplificada as equações de oxidação e de redução que ocorrem nesse tipo de dispositivo.

$$A\ell + 7\ A\ell C\ell_4^- \rightarrow 4\ A\ell_2C\ell_7^- + 3\ e^-$$

$$C_n[A\ell C\ell_4] + e^- \rightarrow C_n + A\ell C\ell_4^-$$

Com base nessas informações, avalie se as afirmações a seguir são verdadeiras ou falsas, justificando-as.

I. No ânodo, o alumínio metálico passa por oxidação e seu Nox varia de zero a +4.

II. O ânodo de alumínio é o polo positivo.

III. A equação química global da pilha é:

$$A\ell + 4\ A\ell C\ell_4^- + 3\ C_n[A\ell C\ell_4] \rightarrow 3\ C_n + 4\ A\ell_2C\ell_7^-$$

IV. No cátodo, polo positivo da pilha, ocorre a redução do carbono do grafite. 5. I. Falsa; II. Falsa. III. Verdadeira. IV. Verdadeira.

6. Na década de 1990, uma indústria estadunidense desenvolveu um carro elétrico equipado com uma bateria recarregável de sódio-enxofre. Considere os potenciais de redução do sódio e do enxofre. 6. Alternativa **e**.

$Na^+ + e^- \rightarrow Na$ $\quad E°_{red} = -2{,}7\ V$

$S + 2\ e^- \rightarrow S^{2-}$ $\quad E°_{red} = -0{,}5V$

Indique a afirmação **incorreta** referente ao processo de descarga da bateria de sódio-enxofre.

a. O eletrodo de sódio constitui o ânodo.

b. Cada átomo de enxofre recebe dois elétrons.

c. Uma associação de cinco pilhas em série seria incapaz de substituir as baterias de chumbo, que apresentam uma ddp de 12 V.

d. A equação química global é: $2\ Na + S \rightarrow 2\ Na^+ + S^{2-}$

e. Com a correção estequiométrica, a equação de oxidação do sódio é:

$2\ Na \rightarrow 2\ Na^+ + 2\ e^-$ $\quad E°_{red} = -5{,}4\ V$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

EM FOCO O futuro das baterias

Pesquisadores brasileiros desenvolvem bateria à base de sódio

Elemento químico abundante na natureza, o sódio (Na) é encontrado na água do mar e em reservas salinas em todos os continentes. Especialistas avaliam que a substância pode constituir uma alternativa importante no processo de armazenamento de energia, com potencial de substituir em até 25% o espaço ocupado hoje pelas baterias de lítio, que equipam carros elétricos, *drones*, *smartphones*, *notebooks*, *tablets* e outros aparelhos eletrônicos.

Uma equipe da Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação da Universidade Estadual de Campinas (Feec-Unicamp) trabalha no desenvolvimento do primeiro protótipo de uma bateria de sódio brasileira. [...]

[...] "Já temos capacidade de desenvolver a tecnologia e produzir os primeiros protótipos", afirma o físico Hudson Zanin, professor da Feec-Unicamp e líder do projeto de pesquisa.

[...]

As tecnologias das baterias de sódio e de lítio, explica Zanin, são muito parecidas. [...]

A diferença é que o íon de sódio é maior do que o íon de lítio e, portanto, tem mais dificuldade para penetrar a estrutura dos eletrodos. Isso exige o desenvolvimento de eletrodos que facilitem essa operação. "Nas baterias de lítio, o ânodo é feito de grafite; nas baterias de sódio, por outra estrutura de carbono. Uma utiliza cátodos à base de lítio e a outra de sódio", detalha Zanin.

[...]

Viabilidade econômica

As baterias de lítio são consideradas hoje a tecnologia mais eficiente para compactar energia [...]. Em um mesmo volume físico, são capazes de carregar 30% mais energia do que uma bateria de sódio.

Continua

Continuação

4. Alternativa **a**. O elemento sódio está presente no mundo de forma muito mais homogênea que o lítio, o que permitirá aos países que não detêm reservas de lítio ter uma dependência econômica menor de outros países.

Além disso, são mais duráveis por terem melhor ciclabilidade, ou seja, realizam um número maior de ciclos de carga e descarga de energia. Enquanto uma bateria de lítio realiza 12 mil ciclos durante sua vida útil, as baterias de sódio, por ora, não chegam a 4 mil ciclos.

Zanin pondera, no entanto, que os módulos de sódio apresentam vantagens competitivas relevantes que podem impulsionar seu uso nos próximos anos. "O sódio é um insumo acessível e disponível em qualquer país. Seu refino em larga escala proporcionará maior viabilidade econômica à bateria de sódio quando comparada à de lítio, que enfrentará fortes demandas de mercado", afirma.

O lítio é um minério com reservas conhecidas limitadas e ocorrência restrita a poucos países, como Bolívia, Chile, Argentina, Portugal e Austrália. No Brasil, a única reserva comercialmente viável conhecida está no Vale do Jequitinhonha, em Minas Gerais. De acordo com estimativa de 2021 da Agência Internacional de Energia (IEA), o consumo de lítio deverá aumentar 75 vezes até 2050.

[...] "Como não haverá lítio para todos, o sódio pode ser uma alternativa", diz Zanin.

Outro problema do lítio, detalha o pesquisador, é que o processo de refino do minério para alcançar o grau adequado para o uso em baterias consome muita energia. Quando as fontes energéticas utilizadas não são renováveis, destaca, o processo produtivo apresenta grande impacto ambiental. "A extração e o processamento do sódio, ao contrário, têm baixíssima pegada de carbono", compara.

LÉO RAMOS CHAVES/ REVISTA PESQUISA FAPESP

Pesquisadora Anna Peluso, da Unicamp, trabalha na montagem da bateria de sódio.

[...] as baterias de lítio, por sua densidade, tendem a predominar em eletroeletrônicos leves. A tecnologia que usa sódio deve ser aplicada nas baterias estacionárias, aquelas utilizadas em sistemas de segurança energética nos *data centers* e caixas eletrônicos ou no armazenamento de energia eólica e solar fotovoltaica, reduzindo as intermitências no fornecimento de eletricidade geradas pela falta de vento e sol. [...]

Mobilidade elétrica

Zanin, no entanto, vê potencial também na mobilidade elétrica. Em um primeiro momento, sua expectativa é de que a tecnologia seja empregada em veículos de grande porte, como ônibus, caminhões, trens e navios.

[...]

Fonte: ZAPAROLLI, D. Pesquisadores brasileiros desenvolvem bateria à base de sódio. **Revista Pesquisa FAPESP**, ed. 329, jul. 2023. Disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/pesquisadores-brasileiros-desenvolvem-bateria-a-base-de-sodio/. Acesso em: 18 jun. 2024.

1. Com base nas informações fornecidas no texto, julgue se o elemento químico potássio teria potencialmente maior ou menor eficiência em compactar energia que as baterias de íon-lítio. Justifique sua resposta.
2. Considere que uma bateria de íon de lítio tenha uma vida útil de cerca de três anos. Com base nas informações fornecidas no texto, qual seria a estimativa da vida útil, em anos, de uma bateria de íon de sódio, considerando que ambas fossem submetidas às mesmas condições de operação?
3. Dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), criados pelas Nações Unidas, indique o(s) que se relaciona(m) com o desenvolvimento de tecnologias como a apresentada no texto? Justifique sua resposta. Se necessário, realize uma pesquisa na internet para conhecer melhor as metas propostas para cada ODS.
4. Qual seria um possível benefício socioeconômico da adoção de baterias de sódio em vez de baterias de lítio no contexto global? 4. Alternativa **a**.
   - **a.** Redução da dependência de países com reservas limitadas de lítio, promovendo uma distribuição mais equitativa dos recursos energéticos.
   - **b.** Aumento da densidade de energia em dispositivos eletrônicos portáteis, como *smartphones* e *laptops*, possibilitando à população de baixa renda adquirir a esses produtos, já que as baterias de sódio são mais baratas e eficientes que as de lítio.
   - **c.** Maior durabilidade e número de ciclos de carga e descarga em comparação com as baterias de lítio, possibilitando a fabricação de produtos com preço mais acessível à população de baixa renda.
   - **d.** Expansão do mercado de baterias de sódio para pequenos dispositivos eletrônicos, dominando este segmento, criando postos de trabalho rápidos, já que a tecnologia se encontra em fase final de testes.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADES DE FECHAMENTO

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

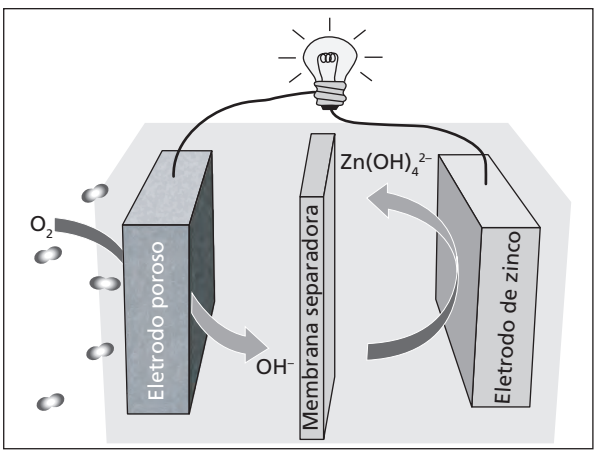
Sempre que considerar necessário, consulte a tabela de potenciais-padrão de redução (E^o) presente no capítulo 6.

1. A Resolução Conama nº 401/2008 atribui maior responsabilidade pós-consumo aos fabricantes e aos importadores de pilhas e baterias. Entretanto, qual é o papel dos consumidores e dos vendedores nesse ciclo? Como eles podem contribuir para a destinação adequada desses dispositivos?

2. Considere uma pilha na qual são utilizados eletrodos de cobre e de níquel e soluções eletrolíticas de nitrato de cobre(II), nitrato de níquel(II) e nitrato de potássio (todas com concentração de 1 mol L^{-1}), além dos demais componentes necessários para seu funcionamento. Faça uma ilustração dessa pilha, indicando, por meio de legendas, todos os componentes presentes. Descreva seu funcionamento, apresentando as equações das semirreações e o cálculo da ddp; faça o diagrama de célula.

3. (Enem) Grupos de pesquisa em todo o mundo vêm buscando soluções inovadoras, visando à produção de dispositivos para a geração de energia elétrica. Dentre eles, pode-se destacar as baterias de zinco-ar, que combinam o oxigênio atmosférico e o metal zinco em um eletrólito aquoso de caráter alcalino. O esquema de funcionamento da bateria zinco-ar está apresentado na figura.

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA



LI, Y.; DAI, H. Recent Advances in Zinc–Air Batteries. **Chemical Society Reviews**, v. 43, n. 15, 2014 (adaptado).

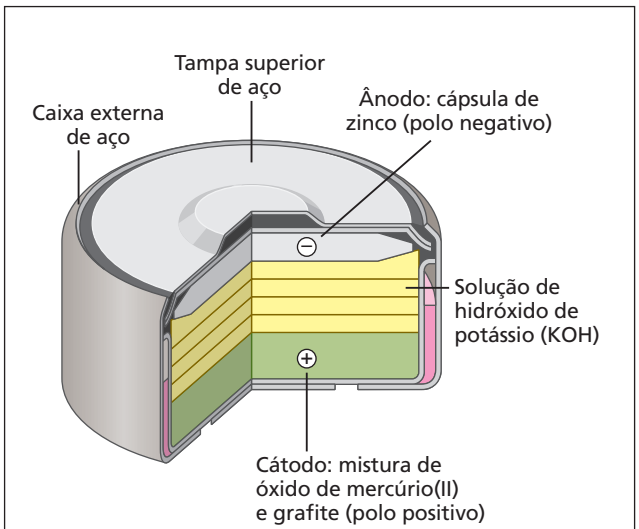
No funcionamento da bateria, a espécie química formada no ânodo é: 3. Alternativa **e**.

a. $H_2(g)$.
b. $O_2(g)$.
c. $H_2O(\ell)$.
d. $OH^-(aq)$.
e. $Zn(OH)_4^{2-}(aq)$.

4. Construiu-se uma pilha utilizando como eletrodos uma lâmina de prata e uma lâmina de ferro. Os eletrodos foram conectados aos terminais de um voltímetro para medir a ddp dessa pilha.

a. Qual dos eletrodos atua como ânodo e qual atua como cátodo? Justifique sua resposta com base nos potenciais-padrão de redução dos metais utilizados.
b. Calcule a ddp dessa pilha considerando que esteja em condições-padrão.
c. Represente o diagrama de célula dessa pilha.

5. Observe a pilha de mercúrio representada a seguir.



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborada com base em ATKINS, P.; JONES, L. **Princípios de química**: questionando a vida moderna e o meio ambiente. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

(Imagem sem escala; cores-fantasia.)

a. Qual é o eletrólito dessa pilha?
b. Qual elemento químico se comporta como agente redutor?
c. Qual elemento químico se comporta como agente oxidante?
d. Escreva a equação química global da reação que acontece nessa pilha.

6. (Enem) A invenção do LED azul, que permite a geração de outras cores para compor a luz branca, permitiu a construção de lâmpadas energeticamente mais eficientes e mais duráveis do que as incandescentes e fluorescentes. Em um experimento de laboratório, pretende-se associar duas pilhas em série para acender um LED azul que requer 3,6 volts para o seu funcionamento. Considere as semirreações de redução e seus respectivos potenciais mostrados no quadro. 6. Alternativa **c**.

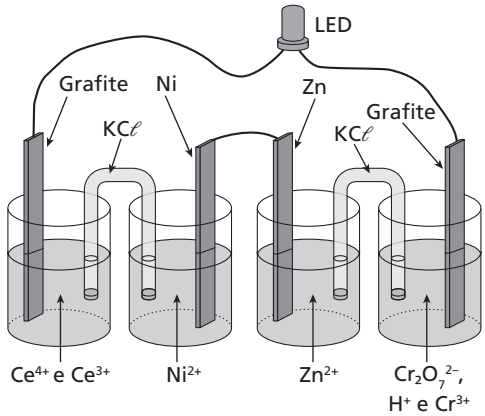
Semirreação de redução	E (V)
$Ce^{4+}(aq) + e^- \rightarrow Ce^{3+}(aq)$	+1,61
$Cr_2O_7^{2-}(aq) + 14\,H^+(aq) + 6\,e^- \rightarrow 2\,Cr^{3+}(aq) + 7\,H_2O(\ell)$	+1,33
$Ni^{2+}(aq) + 2\,e^- \rightarrow Ni(s)$	-0,25
$Zn^{2+}(aq) + 2\,e^- \rightarrow Zn(s)$	-0,76

Continua

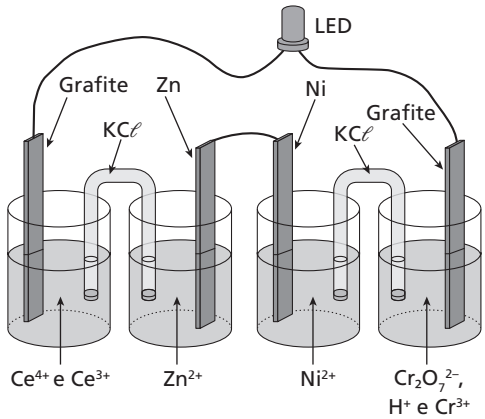
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Qual associação em série de pilhas fornece diferença de potencial, nas condições-padrão, suficiente para acender o LED azul?

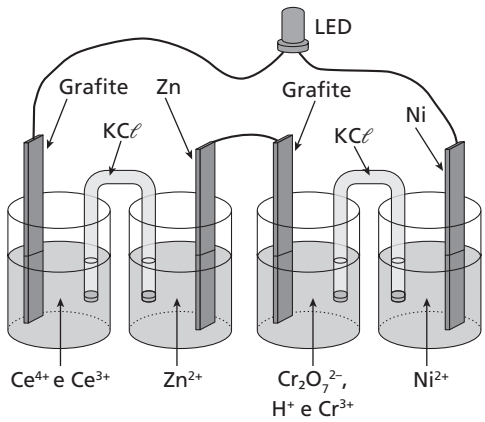
a.



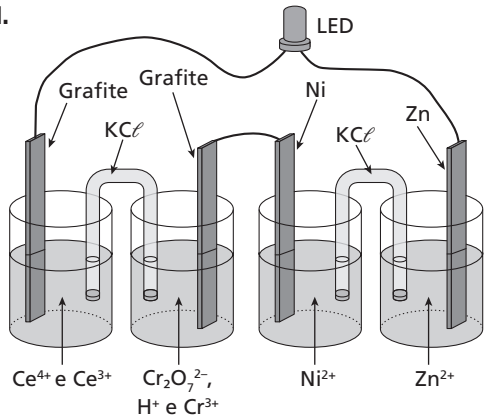
b.



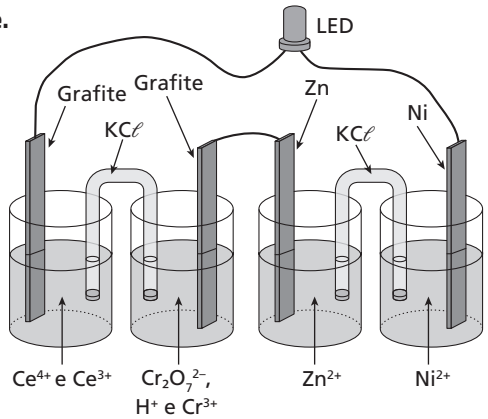
c.



d.



e.



ILUSTRAÇÕES: LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

7. (UFRN) As pilhas níquel-cádmio são consideradas as de maior impacto ambiental e, devido à presença do elemento químico cádmio, são altamente tóxicas. Essas pilhas, muito usadas nos telefones celulares, não devem, portanto, ser descartadas no lixo comum. Os valores dos potenciais normais de eletrodo da pilha níquel-cádmio são:

$Cd(OH)_2(s) + 2\ e^- \rightleftarrows Cd(s) + 2\ OH^-(aq)$ $\quad E° = -0{,}81$ V

$NiO(OH)(s) + H_2O(\ell) + e^- \rightleftarrows Ni(OH)_2(s) + OH^-(aq)$ $\quad E° = +0{,}52$ V

a. Durante a descarga da pilha, o cádmio se oxida ou se reduz? Justifique.

b. Se $E_T = E_C - E_A$, explique se a pilha níquel-cádmio, em condições normais, poderá ser usada para fazer funcionar um dispositivo eletrônico que necessite de uma diferença de potencial de 1,52 V.

Nota dos autores: E_T = potencial-padrão de redução total; E_C = potencial-padrão de redução do cátodo; E_A = potencial-padrão de redução do ânodo.

8. Considere a representação esquemática da pilha de Daniell presente neste capítulo. Forneça uma explicação baseada nas leis da física para os elétrons que fluem pelo fio elétrico de cobre em vez de serem atraídos pelos íons Zn^{2+} da solução aquosa.

Capítulo 8

Materiais renováveis e biodegradáveis

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: CONSÓRCIO PÚBLICO INTERMUNICIPAL DO RIO GRANDE DO NORTE. Copirn, 1º jun. 2022. Disponível em: https://copirn.org.br/projetos-e-acoes-do-copirn-em-funcao-da-economia-circular/. Acesso em: 12 jun. 2024.

Infográfico de um modelo econômico circular que tem potencial para um mundo sustentável.

Vivemos em uma transição do modelo econômico linear, que tem como base a extração, a transformação, a utilização e o descarte, para o modelo econômico circular, também conhecido como **economia circular**, em que os materiais são reincorporados à cadeia de produção, ou seja, o que antes era resíduo passa a ser considerado recurso. Por exemplo, o reúso, a reciclagem e o aproveitamento de resíduos da produção de biomassa para a obtenção de energia elétrica, como o bagaço da cana-de-açúcar que sobra na cadeia produtiva do etanol combustível, encaixam-se nesse contexto. Nessa obra, consideramos **biomassa** qualquer matéria orgânica de origem vegetal ou animal não fossilizada cuja energia química possa ser transformada em energia mecânica, térmica ou elétrica.

Dentro dos princípios do desenvolvimento sustentável e em consonância com a economia circular, surgiu, na década de 1990, a Química Verde, cujo objetivo era reduzir os impactos da atividade química no ambiente. Os princípios dessa área do conhecimento podem ser resumidos em três categorias principais:

- uso de fontes renováveis ou recicladas de matéria-prima;
- economia de recursos, pela geração de menor quantidade de resíduos e pelo aumento da eficiência energética dos processos;
- redução do uso de substâncias persistentes, bioacumulativas e tóxicas.

O crescente interesse pelo desenvolvimento e pelo uso de materiais renováveis e biodegradáveis vem ganhando força e é o assunto que estudaremos neste capítulo.

Fique por dentro

O terceiro templo: os conflitos árabe-israelenses e os choques do petróleo

SANT'ANNA, I. **O terceiro templo**: os conflitos árabe-israelenses e os choques do petróleo. Rio de Janeiro: Objetiva, 2015.

O livro aborda a guerra do Yom Kippur (o Dia do Perdão, entre os judeus) e sua associação com a crise do petróleo de 1973, que culminou no lançamento do Proálcool no Brasil.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Biocombustíveis

Biocombustíveis são derivados de biomassa usados como alternativa aos combustíveis fósseis em processos de obtenção de energia, seja em motores a combustão, seja em usinas. No Brasil, o etanol é obtido da sacarose da cana-de-açúcar e o biodiesel é obtido, principalmente, do óleo de soja. Em 2021, a produção global de biodiesel foi estimada em 151 milhões de metros cúbicos. O Brasil, que se destaca como um dos cinco maiores produtores de biodiesel do mundo, foi responsável por cerca de um quarto dessa produção. Segundo o relatório de 2022 da Agência Internacional de Energia (em inglês, International Energy Agency – IEA), a demanda do biocombustível se ampliará em cerca de 22% até 2027.

VIDAL/AGÊNCIA O GLOBO

O automóvel mostrado na imagem foi o primeiro carro com motor movido a etanol lançado no mercado. (Rio de Janeiro, RJ, 1976.)

Embora o uso dos biocombustíveis tenha potencial para reduzir a emissão de gases de efeito estufa, existe um receio de que venha a provocar a falta, e o consequente aumento do preço, de produtos agroalimentícios por exigir grandes áreas de cultivo dedicadas à monocultura; sem contar o impacto ambiental causado pelo próprio estabelecimento dessas áreas de cultivo.

Etanol, um biocombustível da classe dos álcoois

Na indústria, a cana-de-açúcar passa por processos de lavagem, trituração e moagem para a obtenção do caldo de cana, que, em seguida, é filtrado para ser separado dos resíduos. Ao caldo filtrado adicionam-se leveduras (principalmente da espécie *Saccharomyces cerevisiae*), microrganismos que transformam os glicídios presentes no caldo de cana, como a sacarose ($C_{12}H_{22}O_{11}$), em glicose ($C_6H_{12}O_6$) e, depois, durante o processo conhecido como **fermentação alcoólica**, em etanol (C_2H_6O) e dióxido de carbono (CO_2). A mistura que contém etanol passa, então, por destilação fracionada para a obtenção do **etanol hidratado**. O etanol hidratado pode ser utilizado nos carros bicombustíveis, ou seja, nos carros com motores que funcionam com gasolina ou etanol, e pode passar pelo processo de desidratação para retirar água (H_2O) e ser transformado em **etanol anidro**, utilizado na mistura da gasolina comum.

Além da cana-de-açúcar, o etanol pode ser produzido com base em outras fontes ricas em glicídios, como milho e beterraba. Atualmente, o Brasil é o segundo maior produtor mundial de etanol. Em primeiro lugar estão os Estados Unidos, onde a principal fonte é o milho, que fornece menor volume de etanol por unidade de área cultivada.

Metanol

Outro tipo de álcool de grande importância econômica e industrial é o metanol (CH_4O), produzido a partir do **gás de síntese**, mistura formada principalmente por monóxido de carbono (CO) e gás hidrogênio (H_2). O gás de síntese pode ser obtido de diversas matérias-primas que contenham carbono em sua composição, como o gás metano (CH_4) – proveniente, por exemplo, da decomposição anaeróbica da matéria orgânica, cujo produto no estado gasoso é denominado **biogás**.

O gás de síntese é convertido em metanol ao ser submetido a altas temperaturas e pressão na presença de catalisadores. Esse processo é representado de forma simplificada a seguir.

$$CH_4(g) + H_2O(\ell) \rightarrow CO(g) + 3\ H_2(g)$$

$$CO(g) + 2\ H_2(g) \rightarrow CH_4O(g)$$

Bastante utilizado como solvente na indústria e como matéria-prima na produção de biodiesel, o metanol é uma substância inflamável altamente tóxica, que queima com chama quase incolor e tem menor poder calorífico quando comparado ao etanol.

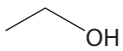
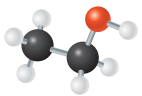
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Reconhecendo os álcoois

Os grupos de átomos que permitem diferenciar uma classe de substâncias de outra são chamados **grupos funcionais**. Moléculas como as do etanol e do metanol apresentam uma parte em comum, denominada **grupo hidroxila** (—OH), que as caracteriza como álcoois. De forma simplificada, podemos representar a **função orgânica** álcool como R—OH, em que R representa uma cadeia carbônica ligada ao grupo funcional OH por um átomo de carbono que estabelece apenas ligações covalentes simples. Os álcoois contendo apenas uma hidroxila são chamados de monoálcoois, e aqueles que contêm duas e três hidroxilas são classificados como diálcool e triálcool, respectivamente. Outra função orgânica que será estudada mais adiante é a dos **hidrocarbonetos**, os quais se caracterizam por terem apenas átomos dos elementos químicos carbono e hidrogênio.

Observe no quadro a seguir diferentes formas de representação de moléculas orgânicas utilizando o etanol como exemplo.

Algumas formas possíveis de representar o etanol

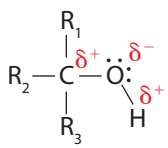
Fórmulas estruturais planas (condensada e parcialmente condensada)	Fórmula de linha ou traço de ligação	Modelo de esferas e bastões	Modelo de espaço preenchido
CH_3CH_2OH $H_3C—CH_2—OH$			

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Relações entre estrutura e propriedades dos álcoois

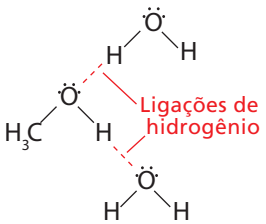
O etanol anidro pode ser utilizado como combustível misturado ou não à gasolina automotiva. Vamos analisar a solubilidade de alguns álcoois em água e em hexano (C_6H_{14}), um composto com características físico-químicas semelhantes às da gasolina.

A solubilidade de álcoois em solventes polares como a água e apolares como o hexano pode ser entendida em termos da presença do grupo hidroxila (—OH) e do tamanho da cadeia carbônica. O grupo hidroxila é polar, enquanto a cadeia carbônica é apolar. Assim, quanto maior a cadeia carbônica da molécula, maior é a afinidade da substância por solventes apolares. Isso explica, por exemplo, a diferença de comportamento do metanol e do hexan-1-ol.



Os símbolos R_1, R_2 e R_3 representam cadeias carbônicas ou átomos de hidrogênio, e os símbolos δ^+ e δ^- representam cargas parciais. As cargas parciais resultam das diferenças de eletronegatividade dos átomos, os quais compartilham o par de elétrons da ligação covalente de forma assimétrica ou desigual.

O grupo hidroxila estabelece com a água, predominantemente, interações intermoleculares do tipo ligações de hidrogênio, enquanto a cadeia carbônica interage com o hexano por forças dispersivas de London.



Representação esquemática das ligações de hidrogênio (linhas tracejadas vermelhas) formadas entre o metanol e a água.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Na tabela a seguir, compare a estrutura e a solubilidade de alguns álcoois em água (solvente polar) e em hexano (solvente apolar).

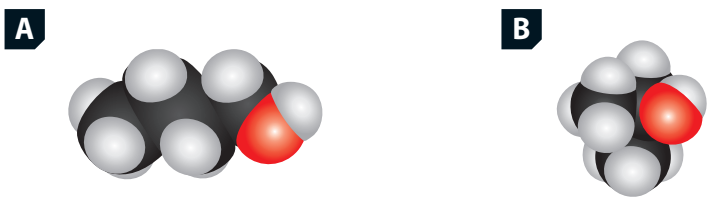
Solubilidade de alguns álcoois em água e em hexano a 20 °C

Nome	Fórmula estrutural plana	$S_{água}$ (g de álcool/100 g de água)	S_{hexano} (g de álcool/100 g de hexano)
Metanol	$H_3C - OH$	Ilimitada	3,8
Etanol	$H_3C - CH_2 - OH$	Ilimitada	Ilimitada
Butan-1-ol	$H_3C - (CH_2)_3 - OH$	7,9	Ilimitada
2-metilpropan-2-ol	$H_3C - \underset{\displaystyle OH}{\overset{\displaystyle CH_3}{\overset{|}{\underset{|}{C}}}} - CH_3$	Ilimitada	Ilimitada
Hexan-1-ol	$H_3C - (CH_2)_5 - OH$	0,6	Ilimitada

Fonte: elaborada com base em MARTINS, C. R.; LOPES, W. A.; ANDRADE, J. B. Solubilidade das substâncias orgânicas. **Química Nova**, v. 36, n. 8, p. 1248-1255, 2013.

Nota: Solubilidade ilimitada corresponde a uma mistura homogênea em qualquer proporção entre o soluto e o solvente.

Note que o butan-1-ol e o 2-metilpropan-2-ol apresentam a mesma fórmula molecular, no entanto os átomos presentes nas moléculas dessas substâncias estão organizados de maneira distinta. Como a superfície de interação entre as moléculas de cadeia carbônica mais estendida do butan-1-ol é maior que nas moléculas de cadeia carbônica mais compacta do 2-metilpropan-2-ol, conforme as representações a seguir, no butan-1-ol a intensidade das forças dispersivas de London é maior, desfavorecendo a interação com a água.



Representações das moléculas de **(A)** butan-1-ol, também conhecido como álcool *n*-butílico, e de **(B)** 2-metilpropan-2-ol, também conhecido como álcool *t*-butílico. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Nomenclatura dos álcoois

Podemos identificar se certa substância é um álcool por meio do nome dessa substância, pois a nomenclatura sistemática segue regras estabelecidas pela União Internacional de Química Pura e Aplicada (em inglês, International Union of Pure and Applied Chemistry – IUPAC). De modo geral, os nomes sistemáticos apresentam a seguinte sintaxe:

Prefixo	Infixo	Sufixo
Número de átomos de carbono na molécula. No caso de dois átomos de carbono: "et".	Tipo de ligação entre os átomos de carbono. Quando só há ligações simples: "an". Se houver ligação dupla: "en"; e ligação tripla: "in".	Identificador da função orgânica. No caso dos álcoois: "ol".

Para **compostos orgânicos saturados**, ou seja, que contenham apenas ligações simples, de cadeia aberta e não ramificada (cadeia linear) – como é o caso dos exemplos da tabela de solubilidade de alguns álcoois apresentada anteriormente (exceto o 2-metilpropan-2-ol) –, o primeiro passo é contar o número de átomos de carbono e indicar o prefixo correspondente, de acordo com o quadro a seguir.

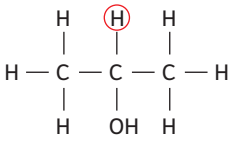
Nomenclatura de compostos orgânicos: prefixos

Número de átomos de carbono	Prefixo
1	met
2	et
3	prop
4	but
5	pent
6	hex
7	hept
8	oct
9	non
10	dec
11	undec
12	dodec

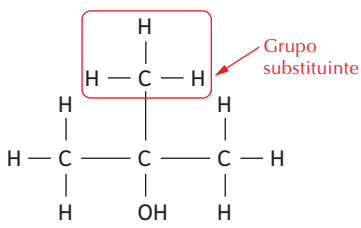
Fonte: PANICO, R. *et al*. **Guia IUPAC para a nomenclatura de compostos orgânicos**. Tradução portuguesa nas variantes europeia e brasileira: José Augusto Rosário Rodrigues *et al*. Lisboa: Lidel, 2002.

Muitas vezes, é necessário numerar os átomos de carbono para que se saiba a localização do grupo hidroxila. Volte à tabela de **Solubilidade de alguns álcoois em água e em hexano a 20 °C** e compare as fórmulas e os nomes das substâncias. Você deve ter percebido que a numeração se inicia pelo átomo de carbono da extremidade mais próxima ao grupo funcional. Você também deve ter notado que, no caso do metanol e do etanol, um localizador não foi informado. Isso porque não há outra possibilidade que não seja o carbono 1, diferentemente dos outros casos, como uma substância chamada butan-2-ol.

Em algumas substâncias, como o 2-metilpropan-2-ol, observamos que um ou mais átomos de hidrogênio da cadeia carbônica são substituídos por grupos de átomos, por exemplo, CH_3. Quando há um ou mais **grupos substituintes**, dizemos que a cadeia é **ramificada**. Nessa situação, antes de começar a nomear a substância, precisamos definir a **cadeia carbônica principal**, ou seja, a cadeia carbônica mais longa à qual se liga o grupo funcional. Nos compostos de cadeia ramificada, a numeração indica também a posição do substituinte ligado à cadeia principal.



Propan-2-ol

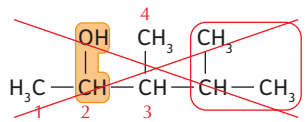


2-metilpropan-2-ol

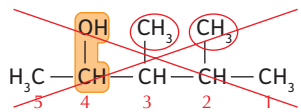
Os grupos substituintes mais simples são identificados apenas por um prefixo e por um sufixo, no caso "il". Se houver duas ou mais possibilidades de cadeia carbônica principal, deve ser escolhida e numerada aquela que contenha a maior quantidade possível de substituintes. Quando há mais de um grupo substituinte, seus nomes são dispostos em ordem alfabética, cada um com seu localizador; se eles forem iguais, acrescentam-se os prefixos multiplicadores "di", "tri" etc. Se os grupos substituintes estiverem ligados ao mesmo átomo de carbono, é necessário repetir o localizador. Exemplo: 3,3-dimetiloctan-1-ol. Note que os números são separados entre si por vírgulas e separados das letras por hifens. Os multiplicadores também são usados quando há mais de um grupo funcional por molécula. Exemplo: propano-1,2-diol.

Vamos analisar a atribuição de nome a um álcool passo a passo.

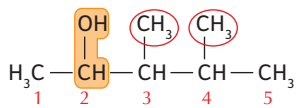
- Localiza-se o grupo funcional (hidroxila) na fórmula estrutural e numeram-se átomos de carbono da cadeia principal em sequência, de forma que o grupo hidroxila fique com o menor número possível:



Cadeia carbônica com apenas quatro átomos de carbono.



Numeração da cadeia carbônica em relação ao grupo funcional é maior que a necessária.



Cadeia carbônica principal e numeração corretos.

- Atribui-se o prefixo de acordo com o número de átomos de carbono da cadeia principal. Nesse caso: pent.
- Identifica-se o tipo de ligação na cadeia. No exemplo, usa-se o infixo an, correspondente à cadeia saturada.
- O sufixo ol é usado para identificar a função química álcool, e a posição do grupo funcional é indicada junto a ele: 2-ol.
- Observa-se que há duas ramificações iguais. Inserimos o multiplicador "di" à frente do nome do grupo substituinte, o qual é atribuído de acordo com o número de átomos de carbono acrescido do sufixo "il". A posição dos grupos substituintes é indicada antes de seu nome: 3,4-dimetil.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Logo, o nome do álcool apresentado é: 3,4-dimetilpentan-2-ol.

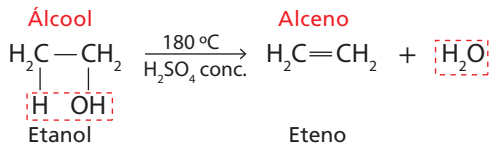
Além da nomenclatura sistemática, há outras formas aceitas. Podemos citar os **nomes usuais**, como ácido acético, a **nomenclatura semissistemática**, em que apenas o sufixo é preservado, como em colesterol, e a **nomenclatura de classe funcional**, que só é adequada para moléculas mais simples. Nesse caso, a sintaxe é:

Nome da classe funcional Nome do grupo substituinte + "ico"

Assim, para o etanol, teríamos álcool etílico.

Desidratação intramolecular

O eteno, matéria-prima do polímero que compõe as sacolas plásticas, pode ser obtido diretamente do petróleo, um recurso não renovável, ou sintetizado a partir do etanol, um recurso renovável, por meio de uma reação de desidratação. Essas reações podem ocorrer por um mecanismo de eliminação ou de substituição de átomos ou grupos de átomos, no caso, H e OH. Nos álcoois que apresentam apenas um grupo hidroxila por molécula, a **reação de eliminação** é chamada **desidratação intramolecular**. Nesse mecanismo, a hidroxila e o hidrogênio que formam a molécula de água ao final do processo são oriundos da mesma molécula orgânica. Um dos pares de elétrons presentes nessas ligações passa a estabelecer uma ligação entre os átomos de carbono vizinhos. Assim, forma-se uma ligação dupla entre os átomos de carbono. O produto orgânico formado pertence à classe funcional conhecida como **alceno** – substâncias cujas moléculas apresentam apenas carbono e hidrogênio e nas quais existe uma ligação dupla entre átomos de carbono. Acompanhe:

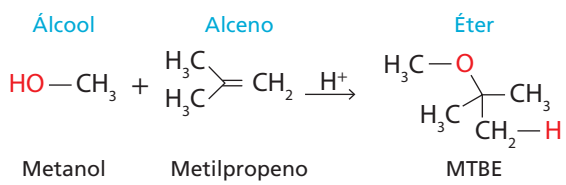


Note que a reação de desidratação ocorre sob aquecimento e na presença de ácido sulfúrico concentrado, o qual atua como catalisador, aumentando a rapidez da reação. Quanto mais substituído o átomo de carbono ligado ao grupo hidroxila, menor é a temperatura necessária para que a reação ocorra. Outro catalisador empregado é o ácido fosfórico (H_3PO_4).

Adição a alcenos e desidratação intermolecular

Você já deve ter percebido que os postos de combustíveis disponibilizam, muitas vezes, duas versões de um mesmo combustível: uma aditivada e uma comum. Os **aditivos** são substâncias que, em princípio, agregam características benéficas ao produto; por exemplo: o aumento da resistência à detonação prematura no interior do motor (antes da compressão máxima), reduzindo a ocorrência de combustão incompleta e a diminuição do depósito de resíduos nas peças do motor.

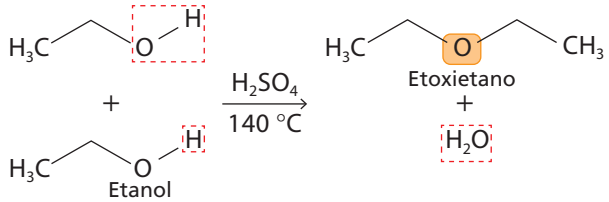
O aditivo antidetonante que já foi utilizado na gasolina tipo B era uma substância conhecida pela sigla MTBE (éter *terc*-butílico e metílico). A comercialização foi proibida pela Agência Nacional do Petróleo (ANP) no final da década de 1990 em razão da toxicidade e resistência à biodegradação, embora ele seja levemente superior como antidetonante que seu substituto, o etanol. É possível sintetizar o MTBE por meio de **reação de adição** de álcoois a alcenos (hidrocarbonetos que contêm dupla ligação entre átomos de carbonos) catalisada por ácido. Acompanhe:



Outro método de obtenção de éteres, e também um dos mais antigos, é a **desidratação intermolecular** de álcoois. Diferentemente da desidratação intramolecular, esse modelo de desidratação

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ocorre entre duas moléculas de álcool por um **mecanismo de substituição**. Um exemplo é a síntese do etoxietano (éter dietílico), o primeiro anestésico utilizado em cirurgias, hoje substituído por substâncias menos tóxicas e menos inflamáveis. Observe a seguir a representação dessa síntese.

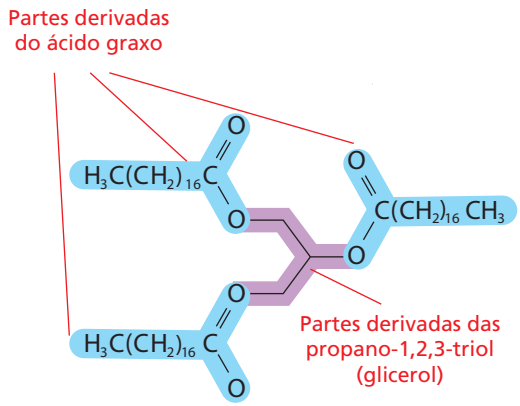


Note que os éteres são caracterizados pela presença do grupo funcional $R_1—O—R_2$, em que R_1 e R_2 correspondem a cadeias carbônicas iguais ou diferentes.

Biodiesel, um biocombustível da classe dos ésteres

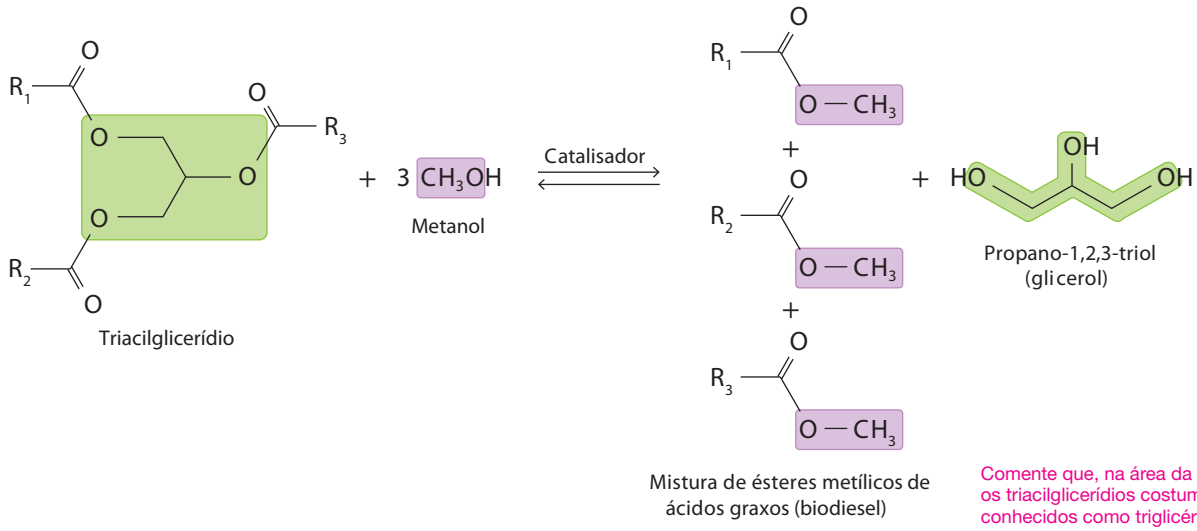
Em 1900, na França, durante a Exposição Universal de Paris, evento mundial criado para a divulgação de novas tecnologias, o engenheiro alemão Rudolph Diesel (1858-1913) apresentou um protótipo de motor que funcionava com óleo de amendoim. Ele acreditava que essa tecnologia poderia ajudar no desenvolvimento agrário dos países e que o uso de óleos vegetais (ou uma gordura animal, substância da classe dos **triacilglicerídios**) poderia se tornar tão importante quanto o de petróleo. Visando à independência energética em relação ao petróleo e ao carvão mineral, a França incentivou a produção de motores movidos a óleos vegetais. No entanto, os óleos vegetais apresentam alta viscosidade, o que contribui para que sua combustão seja incompleta, resultando em acúmulo de resíduos de carbono no motor e na necessidade de manutenção intensiva. Muitos cientistas desenvolveram e testaram diversos métodos, mas nenhum obteve resultados significativos, até que, em meados da década de 1930, a reação de transesterificação foi empregada para produzir o biodiesel.

Embora as cadeias carbônicas derivadas de ácido graxo presentes em óleos e gorduras possam ser diferentes, para fins de simplificação, nesta discussão elas são consideradas sempre iguais.



Fórmula estrutural do triacilglicerídio, conhecido também como triestearato de glicerila.

A **transesterificação** é a reação entre um éster e um álcool que leva à formação de um novo éster e de um novo álcool. No caso da síntese do biodiesel, um óleo vegetal é tratado com um álcool de cadeia curta, geralmente metanol ou etanol. Os produtos formados são ésteres metílicos ou etílicos dos ácidos graxos presentes no material original, além de glicerol (glicerina). Acompanhe:



Comente que, na área da saúde, os triacilglicerídios costumam ser conhecidos como triglicérides.

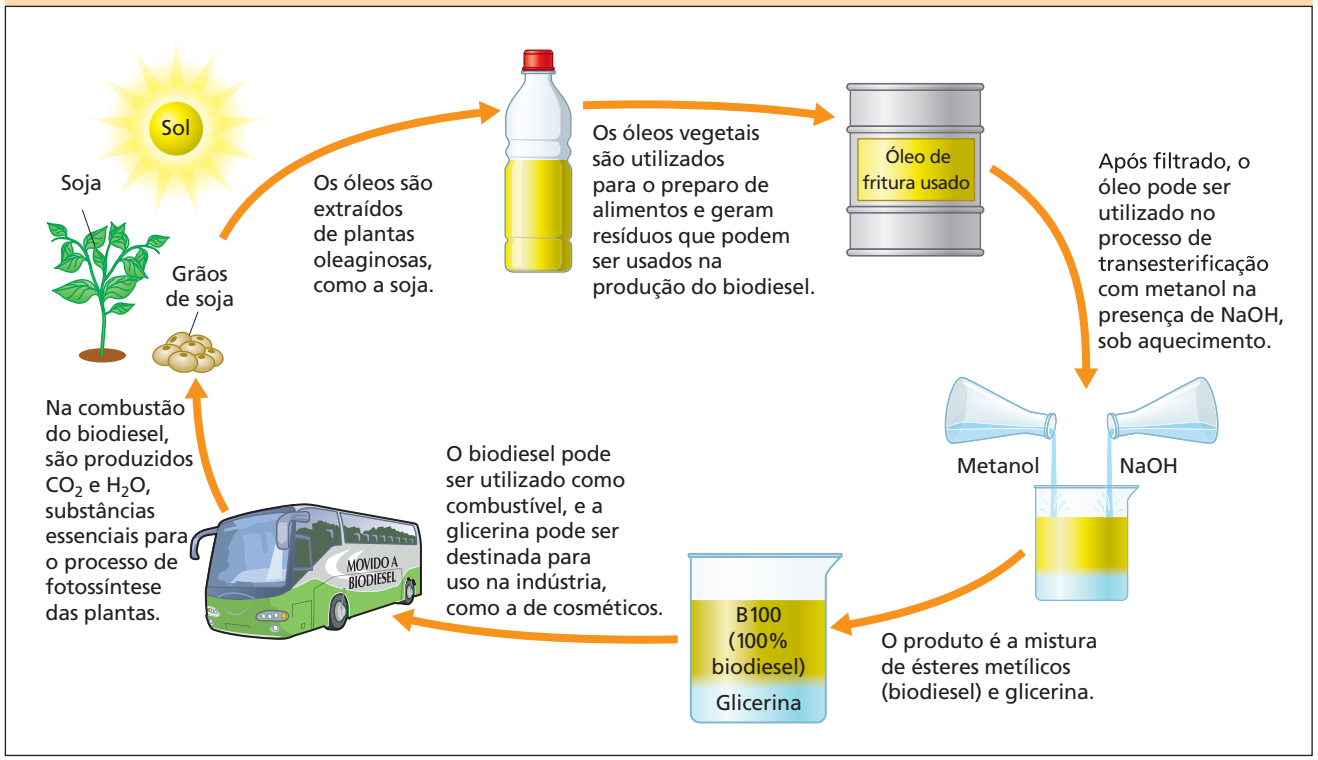
Esquema da reação de transesterificação para a formação de biodiesel. Estão destacados em verde e em roxo os grupos denominados alcóxi (ou alcóxido), que são substituídos nos reagentes para formar os produtos. O biodiesel é uma mistura de ésteres metílicos (ou etílicos, se for utilizado etanol em vez de metanol) dos diversos ácidos graxos presentes no óleo ou na gordura usada na síntese.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Retome o conceito de economia circular neste momento.

Um aspecto importante sobre a síntese de biodiesel é que ela também pode ser feita com matérias-primas residuais ricas em triacilglicerídios, como os óleos de fritura e os resíduos industriais ou urbanos, o que ajuda a diminuir os impactos ambientais causados pela destinação inadequada desses resíduos, constituindo um ciclo fechado de produção e consumo, conforme mostra a figura a seguir. No Brasil, o biodiesel é obrigatoriamente adicionado ao diesel de petróleo em proporções definidas pela legislação em vigor.

Ciclo do biodiesel



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborada com base em METAEFFICIENT. **Biodiesel FAQ**. Disponível em: https://metaefficient.com/uncategorized/biodiesel-faq.html. Acesso em: 26 jun. 2024.

Representação esquemática da produção e uso do biodiesel. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Reconhecendo os ésteres

A função orgânica éster deriva da reação de um álcool com um ácido carboxílico, denominada **esterificação**. Essa reação é reversível, e o processo inverso é chamado **hidrólise**.

R_1 representa uma cadeia carbônica ou um átomo de hidrogênio, e R_2, uma cadeia carbônica.

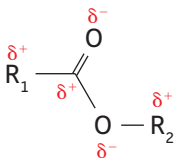
Um ácido carboxílico é uma função orgânica oxigenada que contém pelo menos um grupo funcional carboxila (—COOH), que consiste na ligação dos grupos carbonila (C═O) e hidroxila (—OH). Sua nomenclatura é semelhante à dos álcoois, variando apenas o sufixo, que nesse caso é "oico".

Na indústria, essa reação é realizada em grandes recipientes (reatores) sob agitação e geralmente catalisada por ácido sulfúrico. Para aumentar o rendimento da produção do éster, pode-se empregar um excesso dos reagentes (do álcool, do ácido carboxílico ou de ambos) ou remover continuamente os produtos do meio reacional.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Relações estrutura-propriedade dos ésteres

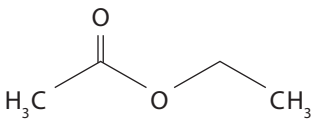
As interações intermoleculares presentes em uma amostra de éster são as **forças dispersivas de London** e as **forças de Keesom** (dipolo permanente-dipolo permanente), que têm intensidade intermediária entre as forças dispersivas de London e as ligações de hidrogênio. As forças dispersivas de London terão maior ou menor efeito sobre o comportamento das substâncias dependendo do tamanho das cadeias carbônicas (R_1 e R_2) que compõem as moléculas. A contribuição das forças de Keesom se dá em função das ligações químicas polares formadas entre os átomos de carbono e oxigênio.



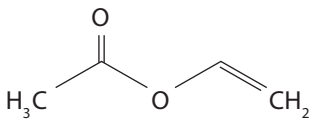
Cargas parciais dos átomos envolvidos no grupo funcional éster.

Nos casos em que os grupos R são cadeias curtas, os ésteres geralmente são líquidos solúveis tanto em água quanto em compostos orgânicos polares e apolares. Desse modo, são excelentes solventes, sendo essa sua principal aplicação. É o caso, por exemplo, do acetato de etila presente em removedores de esmalte. Conforme estudado no caso dos álcoois, o aumento da cadeia carbônica diminui a solubilidade dos ésteres em água e aumenta sua solubilidade em compostos orgânicos apolares, como os presentes no diesel.

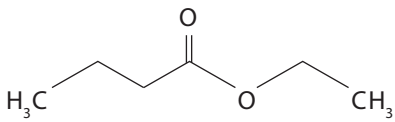
Os ésteres de cadeias curtas também são voláteis, sendo usados como aromatizante na indústria alimentícia, farmacêutica e de cosméticos. Um exemplo é o butanoato de etila, que confere aos materiais aroma característico de abacaxi. Além disso, alguns ésteres são precursores de polímeros bastante presentes no cotidiano na forma de embalagens e colas.



Acetato de etila
(etanoato de etila)



Acetato de vinila
(etanoato de etenila)

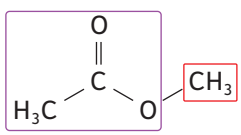


Butanoato de etila

Chame a atenção dos estudantes para os casos em que foram apresentados dois nomes.

Nomenclatura

Acompanhe o exemplo a seguir.



Se julgar conveniente, discuta os nomes preferenciais da IUPAC, indicados no Livro Azul pela sigla PIN. Nesta obra, deixaremos em destaque os nomes preferenciais, apresentando entre parênteses os nomes obtidos pelas regras de nomenclatura.

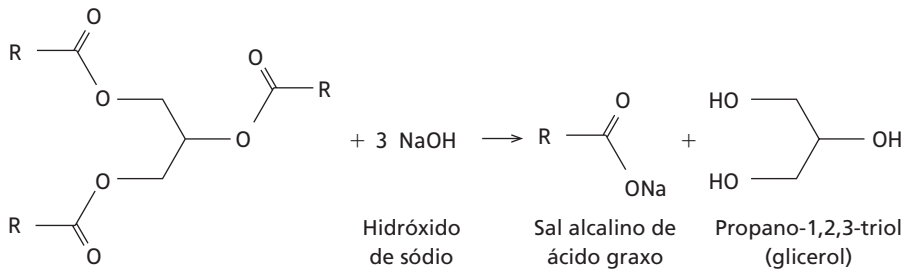
- Devemos identificar a parte do éster que corresponde a um ácido carboxílico (destaque em roxo) sem o H do grupo hidroxila; nesse caso, o ácido acético (ácido etanoico).
- Suprimimos a palavra "ácido" e substituímos o sufixo "ico" por "ato" no nome do ácido. No caso do exemplo apresentado: acetato (ou etanoato).
- Depois, devemos identificar a cadeia carbônica derivada do álcool (destaque em vermelho). Nomeamos essa cadeia usando os prefixos já estudados para informar a quantidade de átomos de carbono e acrescentamos o sufixo "ila". Nesse caso: metila.
- Por último, devemos unir os dois termos pela preposição "de": acetato de metila (ou etanoato de metila).

Reatividade dos ésteres

Embora não se saiba exatamente sua origem, a produção de **sabão** é uma das mais antigas reações químicas conhecidas. É provável que ela tenha sido desenvolvida por acidente, durante a fervura de gordura animal, insolúvel em água, contaminada com cinzas. Nesse processo, percebe-se a coagulação de uma massa esbranquiçada flutuando na mistura. Essa massa, utilizada para lavar roupas e utensílios, mistura-se à água, demonstrando uma ação mais eficaz que a da água para remover gordura e outras sujeiras insolúveis em água.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Mais tarde, os sabões passaram a ser produzidos por meio da reação entre gorduras animais ou óleos vegetais e soluções alcalinas – por exemplo, soluções aquosas de hidróxido de sódio (NaOH) ou hidróxido de potássio (KOH). Essa reação, que ficou conhecida como **saponificação**, é esquematizada genericamente a seguir.



Óleo ou gordura

Hidróxido de sódio

Sal alcalino de ácido graxo (sabão)

Propano-1,2,3-triol (glicerol)

As cadeias carbônicas representadas por R podem ser diferentes em uma mesma molécula de triacilglicerídio.

O meio básico proporcionado pelo NaOH(aq) favorece a reação de hidrólise da gordura. Nessa reação, forma-se sabão, um sal derivado de ácido graxo que geralmente tem em sua estrutura uma cadeia carbônica de 12 a 18 átomos de carbono provenientes dos ésteres de ácidos graxos dos óleos vegetais ou das gorduras animais. A nomenclatura dos sais de ácido graxo é semelhante à utilizada para os ésteres, trocando-se o nome da parte derivada do álcool pelo nome do cátion. Exemplo: estearato de potássio, derivado do ácido esteárico.

Fique por dentro

O que fazer com o óleo de cozinha usado?

O QUE FAZER COM O ÓLEO DE COZINHA USADO? Saiba benefícios e oportunidades do descarte correto, 2024. 1 vídeo (2 min 47 s). Publicado pelo canal Jornalismo TV Cultura. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=II3K4nxn2_w. Acesso em: 11 set. 2024.

A reportagem cita algumas formas de reaproveitar o óleo de cozinha usado.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

1. O etanol, também conhecido como álcool etílico ou álcool comum, é utilizado no Brasil como combustível para automóveis. Outro combustível automotivo muito utilizado é a gasolina (uma mistura de hidrocarbonetos com cadeias carbônicas constituída de 5 a 10 carbonos), obtida do petróleo por destilação fracionada. A queima total desses dois combustíveis leva à produção de gás carbônico e água. O gás carbônico é uma substância que contribui para o chamado "efeito estufa". A seguir, são feitas algumas afirmações:

I. O aumento do efeito estufa não tem nada a ver com o possível aumento do nível dos mares.

II. Ambas as queimas, do etanol e da gasolina, consomem gás oxigênio.

III. O uso do etanol como combustível, embora contribua para o efeito estufa com a emissão de CO_2, é menos prejudicial do que o uso de gasolina, pois o etanol é um biocombustível renovável, diferentemente da gasolina, que não é renovável.

IV. Na queima do etanol e da gasolina, são formadas moléculas de água.

Estão corretas apenas: 1. Alternativa **b**.

a. I, II e III.
b. II, III, IV.
c. I, II, III e IV.
d. III e IV.

2. Os biocombustíveis como etanol e biodiesel trazem muitos benefícios ao ambiente quando comparados aos combustíveis fósseis. Porém, há também o aspecto econômico que se deve considerar. Por exemplo: com a tecnologia *flex* presente na grande maioria dos carros novos vendidos no Brasil, o consumidor pode escolher também qual dos combustíveis é mais econômico. Sabendo que, ao

Continua

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Continuação

comparar volumes iguais de etanol combustível e gasolina, o etanol apresenta 70% da eficiência energética da gasolina. Analisando os dados da tabela a seguir, determine em quais anos abastecer com etanol foi menos vantajoso economicamente do que com gasolina tipo C no Brasil.

Preço médio do etanol hidratado e da gasolina tipo C no Brasil entre 2012 e 2021

Ano	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Preço médio do etanol hidratado (R$/L)	1,943	1,969	2,067	2,230	2,652	2,691	2,889	2,901	2,950	4,334
Preço médio da gasolina C (R$/L)	2,736	2,854	2,975	3,343	3,680	3,767	4,409	4,378	4,279	5,781

Fonte: BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). **Anuário Estatístico 2022**. Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico/arquivos-anuario-estatistico-2022/anuario-2022.pdf. Acesso em: 26 jun. 2024.

3. (FCMSC-SP) O "plástico verde" ou "polietileno verde" é um plástico usado na fabricação de sacolinhas e embalagens. A sua constituição é exatamente igual ao polietileno comum, com as mesmas propriedades, desempenho e versatilidade de aplicações. A única diferença é a matéria-prima utilizada na produção do "polietileno verde", que, em vez de ser o petróleo, é a cana-de-açúcar. O etanol (C_2H_5OH) obtido da cana-de-açúcar passa por uma reação que dá origem ao composto, que é o monômero do polietileno. A etapa de polimerização segue o processo tradicional.

A reação que ocorre com o etanol para a formação do monômero do polietileno e a fórmula molecular desse monômero são 3. Alternativa **b**.

a. desidratação intramolecular e C_2H_4O.
b. desidratação intramolecular e C_2H_4.
c. oxidação branda e C_2H_4.
d. oxidação branda e C_2H_4O.
e. desidratação intramolecular e C_2H_6.

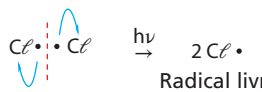
4. O ácido butanoico tem um odor dos mais desagradáveis: está presente na manteiga rançosa, no suor humano e no "chulé". No entanto, ao reagir com ácido acético (ácido etanoico, que contém dois carbonos), forma o agradável aroma de abacaxi. Desenhe no caderno a fórmula estrutural da molécula que caracteriza esse aroma e apresente sua nomenclatura sistemática.

Polímeros sintéticos

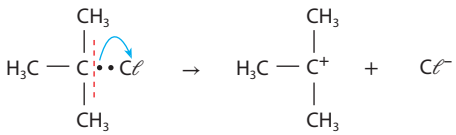
Além das **macromoléculas** naturais produzidas pelo metabolismo de seres vivos, existe outra grande classe delas que são hoje fabricadas industrialmente, por **reações de polimerização**, e que estão presentes no dia a dia na forma dos mais diversos tipos de embalagem. Os **polímeros** são macromoléculas constituídas de unidades menores que se repetem ao longo da cadeia. Essas unidades de repetição são derivadas dos reagentes, denominados **monômeros**, os quais podem ser provenientes de fontes renováveis ou fósseis. Uma amostra de polímero é uma mistura de macromoléculas de diferentes tamanhos, e a dispersão ou variabilidade de tamanhos encontrada depende das condições reacionais empregadas na síntese do material.

Em razão de o polímero ser formado por um ou mais tipos de monômero e da reatividade desses monômeros, o mecanismo da reação de polimerização é diferente. Os processos mais comuns envolvem a formação de radicais livres – espécie química que apresenta pares de elétrons não emparelhados – por **homólise** das ligações covalentes e de carbocátions por **heterólise** das ligações covalentes, e por **reação de condensação**, em que duas moléculas pequenas se unem formando uma molécula maior e eliminando uma molécula pequena, como H_2O ou $HC\ell$.

Acompanhe a seguir o esquema que exemplifica a formação de radical livre e carbocátion por homólise e heterólise, respectivamente. A homólise pode ser iniciada por luz ($h\nu$) ou por aquecimento (Δ).



Radical livre


Carbocátion

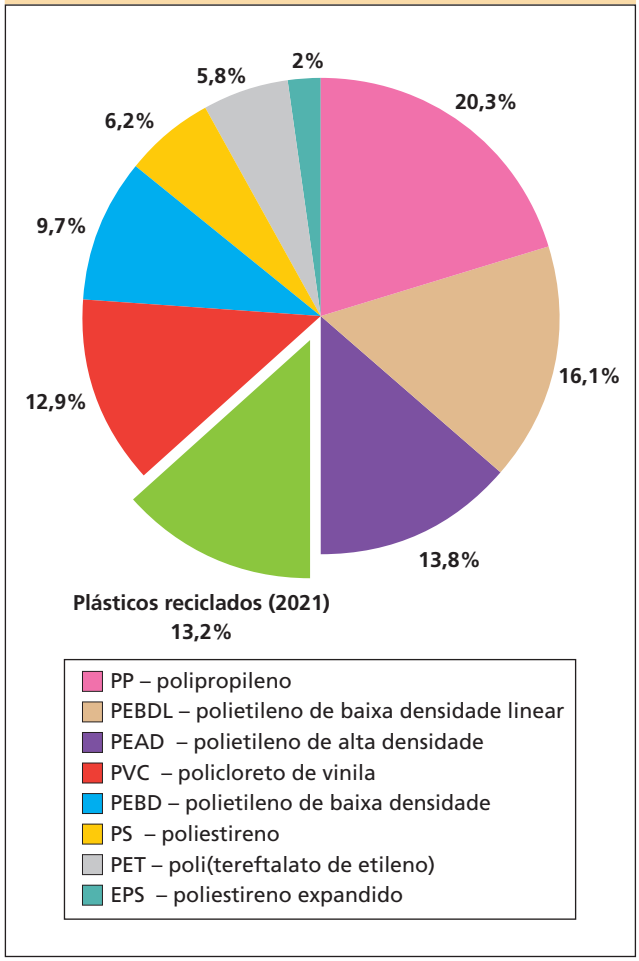
Há várias maneiras de classificar os polímeros, as quais levam em consideração a estrutura da cadeia polimérica, seu comportamento sob aquecimento e sob a ação de forças mecânicas, o mecanismo de reação de polimerização e o tipo de aplicação. No que diz respeito à sustentabilidade, interessam especialmente os aspectos relacionados à estrutura química, pois esse fator tem influência na biodegradabilidade, bem como o aspecto relacionado ao comportamento do polímero sob altas temperaturas, pois é um dos fatores que determinam se ele pode ou não ser reciclado.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Uma classe de materiais composta de polímeros e comumente encontrada em embalagens é a dos **plásticos**, palavra que significa "que pode ser moldado". Segundo dados da Associação Brasileira da Indústria do Plástico (Abiplast), 390,7 milhões de toneladas de plástico foram produzidas em 2021, sendo a China responsável por 32% dessa produção (cerca de 30 vezes mais que o Brasil). A taxa de consumo, no Brasil, dos tipos de plástico no ano de 2022 é apresentada no gráfico a seguir.

Principais plásticos consumidos no Brasil em 2022

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA



Fonte: ABIPLAST. **Perfil 2022**: indústria brasileira de transformação e reciclagem de material plástico. Disponível em: https://www.abiplast.org.br/wp-content/uploads/2023/09/perfil_2022_pt.pdf. Acesso em: 15 out. 2023.

Principais tipos de plásticos consumidos no Brasil em 2022. Do consumo total de plásticos, 13,2% são do tipo reciclados (dados de 2021).

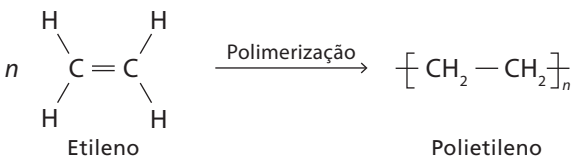
Polímeros verdes

Denominamos **polímeros verdes** as macromoléculas sintetizadas a partir de **fontes renováveis** e cujas etapas de obtenção causam menos impactos ambientais se comparadas aos métodos tradicionais que utilizam fontes de energia não renováveis, como o petróleo.

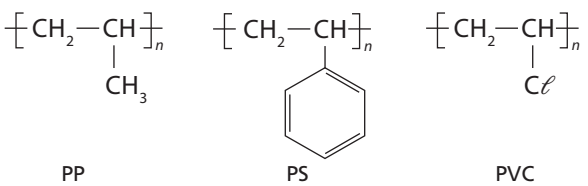
Exemplos de polímeros verdes cujos monômeros são produzidos do etanol da cana-de-açúcar são o polietileno (PE) e o poli(tereftalato de etileno) (PET). Ambos apresentam as mesmas características estruturais e propriedades físico-químicas dos polímeros tradicionais, uma vez que se trata dos mesmos compostos; a diferença está no método de obtenção. O Brasil é um dos pioneiros nesse setor: o primeiro local de produção de PE verde foi instalado no Rio Grande do Sul, em 2010, por uma empresa privada do setor petroquímico.

Polietileno, PE

Polímero comumente encontrado em embalagens flexíveis, como sacolas, a reação de polimerização é feita do monômero eteno, também conhecido como etileno. Nesse processo, as insaturações são rompidas e novas ligações covalentes são formadas entre várias moléculas do alceno. O processo pode ser representado de forma simplificada, como vemos a seguir.



Por meio de mecanismo similar forma-se também, só que a partir do propeno, o polipropileno (PP), encontrado em embalagens rígidas, como potes. As bandejas de poliestireno (PS) associadas a filmes de poli(cloreto de vinila) (PVC), como as da foto, são muito comuns para embalar alimentos. Esses dois polímeros também são fabricados por mecanismo similar ao da fabricação do PE: o PS a partir do estireno (etenilbenzeno ou vinilbenzeno) e o PVC a partir do cloreto de vinila (cloroeteno).



MIND PRO STUDIO/SHUTTERSTOCK

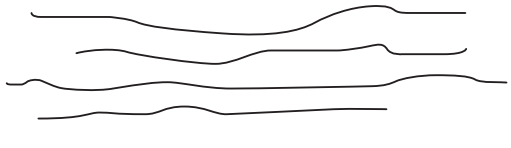
Embalagens feitas de PS e PVC. Esses materiais também são empregados na construção civil: o PS como isolante térmico e acústico e o PVC na forma de tubos e conexões rígidas.

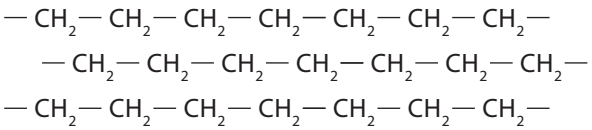
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O polietileno pode ser obtido em diferentes versões controlando-se as condições reacionais. As mais comuns são a versão de **alta densidade** (PEAD) e a de **baixa densidade** (PEBD). O polímero de alta densidade é obtido pela presença de longas cadeias lineares que interagem intensamente, formando um sólido compacto. A baixa densidade pode ser alcançada permitindo-se a formação de cadeias ramificadas, as quais não se organizam de forma tão compacta quanto a do PEAD. Analise as representações a seguir.

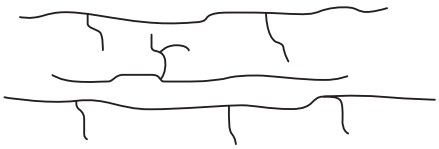
Estruturas do polietileno

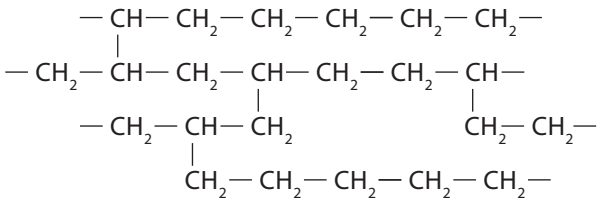
A PEAD





B PEBD





ILUSTRAÇÕES: LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

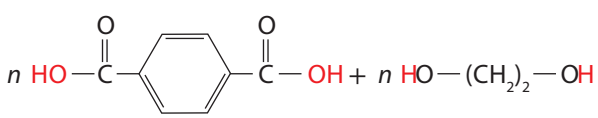
Representação esquemática das versões do polietileno de alta densidade **(A)** e do polietileno de baixa densidade **(B)**. A estrutura do PEBD confere menor resistência e maior maleabilidade ao material em comparação à estrutura do PEAD. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

A temperatura sob a qual o polímero passa de um estado rígido para um estado flexível, permitindo que ele seja moldado, é conhecida como temperatura de transição vítrea (T_g). Ela é menor que a temperatura de fusão e é influenciada pelo **grau de cristalinidade** dos polímeros. Por exemplo, a T_g do PEAD é cerca de 20 °C menor que a do PEBD.

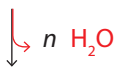
Poli(tereftalato de etileno), PET

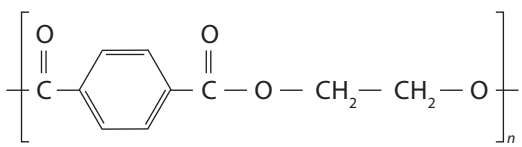
O poli(tereftalato de etileno) é um polímero bastante conhecido hoje por estar associado à produção de garrafas; contudo, sua trajetória começou na indústria têxtil inglesa, em 1941. A produção do PET se desenvolveu como uma alternativa às fibras têxteis de algodão, lã e linho, cuja produção havia sido prejudicada pela destruição dos campos durante a Segunda Guerra Mundial. O início de sua utilização como embalagem para bebidas carbonatadas, como refrigerantes, em substituição ao vidro, ocorreu nos Estados Unidos, na década de 1970. A tecnologia do PET chegou ao Brasil em 1988, ainda com aplicações têxteis, passando a ser aplicada na produção de embalagens somente em 1993.

O PET é um **poliéster** que pode ser sintetizado a partir da reação de condensação entre o etano-1,2-diol (etilenoglicol) e o ácido benzeno-1,4-dicarboxílico (ácido tereftálico). Essa reação é representada de forma simplificada a seguir.



Ácido benzeno-1,4-dicarboxílico (ácido tereftálico) — Etano-1,2-diol (etilenoglicol)





Poli(tereftalato de etileno)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

É possível perceber que o polímero se forma com a eliminação de uma molécula de água para cada par de monômeros que reage.

Muitas vezes, as propriedades dos materiais poliméricos são influenciadas pela massa molecular média do conjunto de cadeias poliméricas que compõem os lotes de produtos sintetizados. Por exemplo, a viscosidade intrínseca é diretamente proporcional à massa molecular. Assim, um PET de maior massa molecular média é empregado em embalagens rígidas, enquanto um PET de menor massa molecular média é utilizado em filmes e fibras.

Biodegradação

A baixa reatividade de boa parte dos polímeros torna sua decomposição muito lenta, o que, aliado ao descarte inadequado, acaba levando a problemas ambientais. Por isso, é fundamental incentivar o reúso e a reciclagem desses materiais, assim como sua substituição por polímeros mais facilmente fotodegradados, quimiodegradados ou biodegradados.

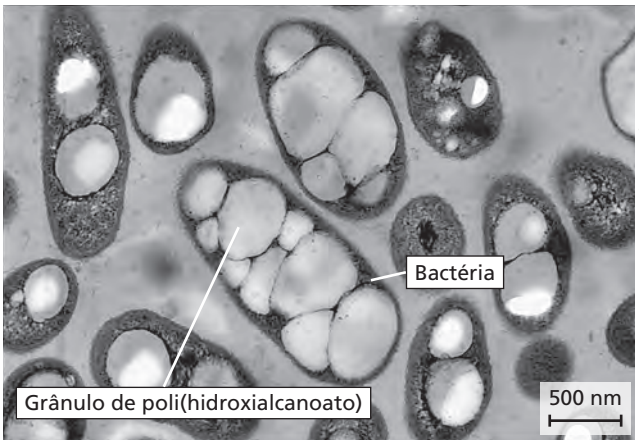
Os materiais poliméricos que podem ser decompostos pela ação de microrganismos (bactérias ou fungos) sob condições favoráveis de temperatura, umidade, luminosidade, pH, concentração de gás oxigênio, nutrientes orgânicos e inorgânicos adequados são classificados como **biodegradáveis**.

No processo de biodegradação, a primeira etapa consiste na fragmentação do material. Na segunda etapa, ocorre a mineralização, em que, além de água, são liberados gases, como o dióxido de carbono (CO_2) e o metano (CH_4), os quais são reintegrados aos ciclos biogeoquímicos. A presença de ligações hidrolisáveis ou oxidáveis na cadeia, além de certo grau de flexibilidade do material e polaridade, são alguns dos fatores que contribuem para o processo de decomposição.

A mera fragmentação pode ter consequências ambientais em razão da formação dos **microplásticos**. Essa é uma das críticas ao uso de embalagens **oxidegradáveis**, materiais poliméricos convencionais que recebem aditivos, como íons de metais de transição, para acelerar seu processo de fragmentação. Há controvérsias na literatura científica sobre esses materiais poderem ser biodegradados após a fase de fragmentação. Além disso, esses aditivos comprometem a resistência mecânica dos polímeros e afetam negativamente o processo de reciclagem.

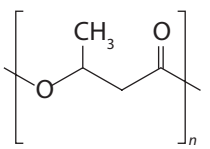
Os polímeros biodegradáveis podem ser classificados, de acordo com as formas de obtenção, em **naturais** e **sintéticos**. Os naturais ainda têm uma participação muito pequena no mercado, em parte por terem aplicações mais restritas e custo de produção maior em comparação ao dos sintéticos.

Os polímeros biodegradáveis naturais mais importantes são os da família dos **poli(hidroxialcanoatos)**, materiais de reserva energética bacterianos produzidos por fermentação de derivados da cana-de-açúcar identificados em 1926.

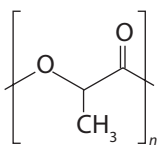


Grânulos de poli(hidroxialcanoato) no interior de bactérias. (Imagem obtida com microscópio eletrônico ampliada cerca de 70.000 vezes.)

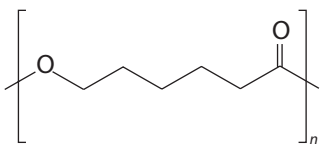
Como exemplo dos poli(hidroxialcanoatos), podemos citar o poli(β-hidroxibutirato), PHB, semelhante em propriedades físicas e mecânicas ao polipropileno. O segundo grupo compreende os polímeros biodegradáveis naturais produzidos de fontes fósseis ou da mistura entre biomassa e petróleo. Entre os mais usados, podemos citar o poli(ácido lático), PLA, e a poli(ε-caprolactona), PCL.



PHB



PLA



PCL

Note que os polímeros biodegradáveis exemplificados são todos do tipo **poliéster alifático**, ou seja, sem anel benzênico em sua composição. Essa classe de polímeros tem sido muito empregada em materiais biomédicos, como cápsulas de liberação controlada de fármacos, fixadores cirúrgicos (suturas absorvíveis e pinos para ossos) e embalagens especiais.

DR. ELISABETH INGOLIĆ, FELMI-ZFE-GRAZ / © 2024 THE AUTHORS. PUBLISHED BY ELSEVIER LTDA
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

5. Imagine que água fervente foi inserida em uma garrafa de plástico feita de polietileno e notou-se que, em poucos segundos, ela amoleceu consideravelmente. Com qual dos dois tipos principais de polietileno essa garrafa deve ter sido feita? Justifique sua resposta com base na estrutura submicroscópica do polímero.

6. O polimetacrilato de metila (PMMA) é um plástico muito resistente que, devido a suas ótimas qualidades ópticas, é muito usado como "vidro plástico". É empregado na fabricação de lentes para óculos infantis, lentes de contato, para-brisas de aviões etc.

A estrutura do polimetacrilato de metila pode ser considerada derivada do polipropileno. Mas, no lugar do átomo de hidrogênio diretamente ligado ao átomo de carbono anexado ao grupo metila, há um grupo mais complexo de átomos, constituído de uma carbonila (C═O) que se liga a um átomo de oxigênio – formando um grupo éster –, que, por sua vez, está ligado a um novo grupo metila. Qual é a fórmula estrutural desse polímero?

7. (Uerj) Com o objetivo de reduzir impactos ambientais, pesquisadores vêm testando alternativas para substituir o plástico comum por novos materiais, como o PHB. Esse polímero é produzido a partir do bagaço da cana e se transforma em CO_2 e H_2O quando se decompõe. 7. Alternativa **b**.

Uma vantagem para o meio ambiente está associada à seguinte característica desse novo polímero:

a. interfere no ciclo do carbono.
b. é composto por fonte renovável.
c. intensifica a magnificação trófica.
d. é resistente à degradação bacteriana.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Registre em seu caderno

TRABALHO E JUVENTUDES

Sustentabilidade na era pós-pandêmica

ODS 11

ODS 12

O período que o mundo atravessou durante a pandemia da covid-19 pode ser definido como um momento histórico extraordinário. Essa crise global gerou impactos e transformações em todos os aspectos da vida humana, desde questões de saúde pública até implicações sociais, econômicas e políticas, moldando o curso futuro de várias áreas da sociedade. Nesse período houve aumento considerável no uso de materiais como máscaras cirúrgicas, seringas e suprimentos hospitalares – usados nas internações – e que, em sua maioria, não podem ser reutilizados ou reciclados por serem materiais contaminantes, além do aumento no uso de embalagens plásticas para a entrega de produtos na residência das pessoas, que enfrentavam o isolamento social.

De acordo com um estudo encomendado pela ONG Oceana Brasil, de 2019 a 2021 o consumo de plástico no setor de *delivery* passou de 17,16 mil toneladas para 25,13 mil toneladas, ou seja, um aumento de 46%. No Brasil, apenas no ano de 2021, os serviços de entrega geraram um total de 68 toneladas de lixo plástico por dia, ou 2,8 toneladas por hora. Esses números refletem, ainda que de forma parcial, o impacto da pandemia na mudança de hábitos de consumo.

Ao mesmo tempo que os materiais plásticos disponíveis naquele momento foram essenciais na resposta à crise sanitária, houve aumento significativo do descarte desses materiais no

FEVZIIE/SHUTTERSTOCK

Alguns materiais usados durante a pandemia da covid-19 e descartados de forma inadequada no ambiente. (Ucrânia, 2020.)

Continua

ambiente. Esse é um problema que será repassado para as novas gerações, que deverão lidar com a poluição gerada e, indo além, repensar o ciclo de vida de produtos e a maneira de efetuar descartes adequados, sobretudo em situações extraordinárias, como a pandemia.

Cerca de cinco anos antes do início da pandemia de coronavírus, foi criada a Agenda 2030 das Nações Unidas, um plano de ação global com o objetivo de criar um mundo mais justo, inclusivo e sustentável. Esse plano reconhece os jovens como personagens essenciais para alcançar as mudanças desejadas, inclusive aquelas relacionadas às pautas ambientais.

No cenário brasileiro, o *Atlas das Juventudes* identificou que 24% dos jovens entrevistados consideram que o ambiente e o desenvolvimento sustentável são temas relevantes no cenário atual. Ainda segundo o *Atlas das Juventudes*, os danos ao ambiente no Brasil são um dos problemas que mais incomodam os jovens. Dados como esses mostram que as juventudes brasileiras estão comprometidas com a agenda ambiental, por isso a importância de serem colocadas – e vistas – como protagonistas em projetos de desenvolvimento sustentável da sociedade.

No contexto ambiental e do desenvolvimento sustentável, o trabalho voluntário em organizações não governamentais e em associações locais pode ser considerado uma porta de entrada para os jovens no mundo do trabalho. O voluntariado oferece, por exemplo, a oportunidade de os jovens desenvolverem diferentes habilidades que podem ser importantes para uma futura atuação profissional, além de atitude proativa, engajamento comunitário e capacidade de equilibrar responsabilidades profissionais com contribuições sociais.

A realização de trabalhos voluntários é também uma oportunidade para os jovens explorarem seus interesses pessoais e traçarem objetivos profissionais a longo prazo. Considerando o uso e o descarte de materiais plásticos, é interessante conhecer algumas das áreas e carreiras que podem ser seguidas caso o objetivo seja contribuir para soluções ambientais. O trabalho na área de Engenharia de Materiais e de Química de Polímeros possibilita a pesquisa e o desenvolvimento de novas matérias-primas para a produção de materiais poliméricos inovadores, avaliando também as propriedades, as aplicações e o comportamento biodegradável. Trabalhos na área de gestão de resíduos possibilitam aos profissionais coordenar a coleta, o tratamento e a disposição final de resíduos, visando à redução do impacto ambiental. Outro exemplo, mais voltado a uma agenda ecológica local, são os técnicos em reciclagem, profissionais que trabalham na linha de frente coordenando e supervisionando processos de reciclagem de materiais, como plásticos.

O futuro do trabalho e das juventudes está ligado à construção de práticas sustentáveis. Ao refletirem sobre as aprendizagens e experiências adquiridas no voluntariado e na maneira como podem ser aplicadas em suas comunidades, os jovens assumem papel central na construção de um mundo mais justo e ambientalmente consciente.

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

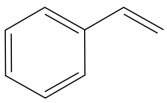
1. De acordo com o texto, a crise global causada pela pandemia de covid-19 gerou impacto em quais aspectos da vida humana?
2. Em determinados momentos da história humana, pode ser necessário aumentar o uso e, consequentemente, o descarte de certos materiais, como os plásticos. De que maneira seria possível um equilíbrio entre o uso desses materiais e a responsabilidade ambiental?
3. Além das profissões mencionadas no texto, que outras carreiras poderiam ser consideradas no enfrentamento dos desafios ambientais apresentados às gerações futuras? Realize uma pesquisa ou procure conversar com pessoas da comunidade que atuam profissionalmente ou que sejam engajadas na área ambiental.
4. De que maneira você, jovem, pode influenciar positivamente a reflexão, a abordagem e a busca por soluções para os problemas ambientais do município ou da comunidade em que você vive?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADES DE FECHAMENTO

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. (Vunesp) Analise a fórmula estrutural. 1. Alternativa **b**.

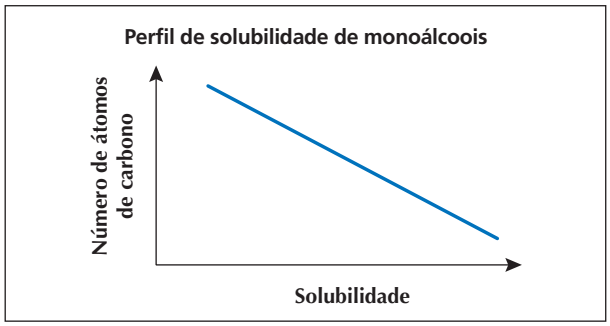


A fórmula estrutural analisada corresponde à molécula do composto que possui [redacted] átomos de carbono, [redacted] átomos de hidrogênio e é o monômero utilizado para a produção do polímero conhecido como [redacted].

As lacunas do texto são preenchidas, respectivamente, por:

a. 7; 8; PET.
b. 8; 8; poliestireno.
c. 7; 7; poliestireno.
d. 8; 8; PET.
e. 8; 7; poliestireno.

2. O gráfico a seguir relaciona o número de átomos de carbono em monoálcoois de cadeia aberta não ramificada com sua solubilidade em 100 g de água a 25 °C:

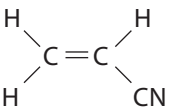


Fonte: elaborado com base em LIDE, D. R. **CRC Handbook of Chemistry and Physics**. 90th ed. Boca Raton: CRC Press, 2010.

Solubilidade de monoálcoois de cadeia aberta não ramificada em função do número de carbonos.

a. Represente as fórmulas estruturais dos compostos: propan-1-ol, pentan-1-ol e heptan-1-ol.
b. Com base nas fórmulas estruturais e no conceito de interações intermoleculares, explique o perfil observado no gráfico para a solubilidade de álcoois em água.

3. A poliacrilonitrila é um polímero muito utilizado na indústria têxtil para a produção de fibras de lã sintéticas. A fórmula estrutural do monômero que o origina é apresentada a seguir. Escreva, no caderno, a equação química da reação de polimerização para a obtenção da poliacrilonitrila.



Acrilonitrila

4. Uma das etapas do processo de reciclagem é a separação de alguns tipos de plástico por diferença de densidade. Partindo de uma mistura com diversos fragmentos de PEAD, PP, PS e PVC e dispondo de água ($d = 1{,}0$ g cm^{-3}), água + etanol ($d = 0{,}93$ g cm^{-3}) e água + cloreto de sódio ($d = 1{,}2$ g cm^{-3}), represente, por meio de um fluxograma, as etapas de separação desses materiais.

Densidade dos plásticos

Material	Densidade (g cm^{-3})
PEAD	0,94-0,96
PP	0,90-0,91
PS	1,04-1,08
PVC	1,22-1,30

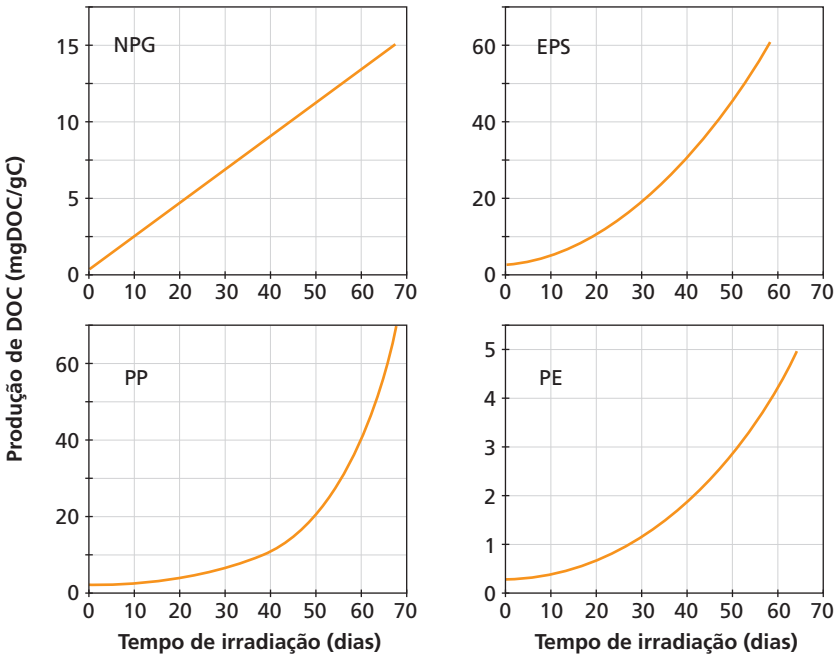
Fonte: SANTA MARIA, L. C. *et al.* Coleta seletiva e separação de plásticos. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 13, n. 17, p. 32-35, 2003.

Densidade de alguns tipos de plástico.

5. (Unicamp-SP) Um estudo recente avaliou como determinados plásticos se degradam na água do mar quando expostos à luz ultravioleta. Os plásticos estudados foram: NPG (plásticos diversos do Giro do Pacífico Norte), EPS (poliestireno expandido), PP (polipropileno) e PE (polietileno). Considerando que somente 2% do plástico despejado no mar está à deriva, esse estudo tentou descobrir para onde vão os microplásticos no ambiente marinho. Um dos resultados do estudo é mostrado nos gráficos a seguir. Nesses gráficos, observam-se as produções de carbono orgânico dissolvido (DOC) por grama de carbono na amostra de plástico utilizado. O DOC foi identificado como o maior subproduto da fotodegradação de plásticos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.
ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Continua



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

(Adaptado de L. Zhu e outros. **Journal of Hazardous Materials** 383, 2020, 121065.

Os resultados mostram que 5. Alternativa **b**.

a. para os quatro plásticos, a velocidade de degradação aumenta com o tempo de exposição; após 50 dias, a maior degradação foi a do PP.

b. para três plásticos, a velocidade de degradação aumenta com o tempo de exposição; após 50 dias, a maior degradação foi a do EPS.

c. para apenas um plástico, a velocidade de degradação não aumenta com o tempo de exposição; após 50 dias, a maior degradação foi a do PP.

d. duas velocidades de degradação aumentam com o tempo e duas permanecem constantes; após 50 dias, a maior degradação foi a do EPS.

6. O butan-1-ol (ou álcool *n*-butílico) apresenta diversas aplicações na indústria, sobretudo como solvente extrator, graças a seu caráter anfifílico, ou seja, suas moléculas apresentam uma parte apolar, também chamada de hidrofóbica, e uma parte polar, também denominada hidrofílica. Avalie se o produto formado na desidratação intermolecular do butan-1-ol terá propriedades semelhantes às do reagente.

7. (Uerj) Atualmente, existe um grande estímulo ao uso dos biocombustíveis, considerados menos agressivos ao meio ambiente. No entanto, assim como os combustíveis derivados do petróleo, eles também produzem CO_2 quando queimados pelos motores.

Considerando o ciclo biogeoquímico do carbono, descreva a consequência positiva do uso exclusivo de etanol para o equilíbrio da taxa de CO_2 atmosférica.
Cite, também, duas desvantagens relacionadas ao uso desse biocombustível.

Reflita sobre seu aprendizado!

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

Agora que o trabalho com esta Unidade foi finalizado, é o momento de você refletir sobre seu aprendizado e identificar novos interesses para continuar aprendendo. Para isso, analise e responda às questões a seguir.

- Retome as questões da seção **Pense nisso!** na abertura desta Unidade e avalie se concorda com suas respostas anteriores depois das discussões realizadas ao longo do estudo dos capítulos. Reescreva-as, se for necessário.
- O que você aprendeu acerca dos assuntos abordados nesta Unidade?
- Quais assuntos/atividades geraram mais dificuldades para sua aprendizagem? Como você superou essas dificuldades?
- Reveja os pontos que deixaram dúvidas e que não foram bem compreendidos. Converse sobre eles com seus colegas e com seu professor a fim de planejarem outras possíveis estratégias de estudo.
- O que mais você gostaria de saber sobre os conteúdos abordados nesta unidade?

Para a realização da atividade 6, recomenda-se pesquisar em fontes diversas, como o *site* da Associação dos Produtores de Biocombustíveis (Aprobio). Disponível em: aprobio.com.br. Acesso em: 10 set. 2024.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

EDUCAÇÃO MIDIÁTICA

Ativismo ambiental nas redes sociais

Na era da informação instantânea, as redes sociais se tornaram ferramentas importantes para a amplificação de vozes e a mobilização de pessoas em torno de reivindicações socioambientais. No contexto da luta pela sustentabilidade, essa realidade se torna ainda mais significativa, com ativistas utilizando plataformas digitais para conscientizar, engajar e pressionar por mudanças. As redes sociais permitem que eles alcancem pessoas de todo o mundo, transcendendo barreiras geográficas e conectando-se com pessoas que compartilham das mesmas preocupações.

Esses ativistas amplificam suas mensagens por meio de publicações de informativos, campanhas *online*, transmissões ao vivo e combate à desinformação. Sua presença nas redes também facilita a organização de eventos presenciais, a criação de petições *online* e a promoção de boicotes a empresas com práticas antiéticas e prejudiciais ao meio ambiente.

No entanto, as redes sociais também representam desafios: as chamadas "bolhas informacionais", em que determinados conteúdos circulam apenas entre pessoas que, de fato, se interessam pelos temas abordados. Para superar esse obstáculo, é importante buscar ativamente informações diversificadas sobre práticas sustentáveis e governos e empresas que desrespeitam legislações ambientais em fontes especializadas e na imprensa.

A capacidade de mobilizar e engajar muitas pessoas é fundamental para pressionar governos e empresas a adotarem políticas mais sustentáveis. Nesse sentido, vale conhecer a história da jovem sueca Greta Thunberg, que se tornou um ícone global na luta contra as mudanças climáticas.

SPENCER PLATT/GETTY IMAGES

Ativista Greta Thunberg participando de uma reunião das Organização das Nações Unidas (ONU) sobre as mudanças climáticas em Nova York, 2019.

Aos 15 anos, em 2018, ela iniciou um movimento chamado "Fridays for Future", que em tradução livre seria "sextas-feiras para o futuro", exigindo ações urgentes dos governantes para combater o aquecimento global. Sua atitude inspirou milhões de jovens em todo o mundo a se mobilizarem pela causa ambiental, organizando protestos e pressionando seus líderes por mudanças. Greta se tornou porta-voz em importantes conferências internacionais. Seu ativismo rendeu diversos prêmios e reconhecimentos, incluindo o título de Pessoa do Ano pela revista *Time*, em 2019. Greta é um exemplo inspirador de como a voz dos jovens pode fazer a diferença na luta por um futuro mais sustentável para o planeta.

Para aprofundarmos a reflexão sobre esse assunto, leia abaixo uma breve descrição do trabalho de duas importantes jovens ativistas ambientais brasileiras:

- **Alessandra Korap Munduruku:** líder indígena e ativista socioambiental, é uma voz poderosa na luta pela preservação da Amazônia e dos direitos dos povos indígenas. Ela denuncia violações como garimpo ilegal e desmatamento, utilizando as redes sociais e seu ativismo para mobilizar pessoas e pressionar por mudanças. Reconhecida internacionalmente, recebeu o Prêmio Robert F. Kennedy de Direitos Humanos e o Prêmio Goldman Environmental, tornando-se um símbolo da resistência e da esperança na defesa do meio ambiente e dos povos originários.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Continua

- **Amanda da Cruz Costa:** Fundadora do Instituto Perifa Sustentável, na Brasilândia, zona norte de São Paulo. Amanda trabalha com educação ambiental e justiça social, promovendo ações de conscientização sobre a importância da sustentabilidade, do racismo ambiental e das causas climáticas em comunidades periféricas. Ela utiliza as redes sociais para compartilhar informações e opiniões acerca dessas temáticas.

Ao conhecer brevemente a história das ativistas mencionadas anteriormente e acessar seus perfis nas redes sociais, procure discutir as questões a seguir com um grupo de 3 ou 4 colegas.

1. Qual a importância de ativistas ambientais ocuparem os espaços das redes sociais e abordarem o tema?
2. Que legado essas ativistas deixam à sociedade do uso que fazem das redes sociais para abordar e denunciar questões socioambientais e denunciar crimes?

Ampliação de repertório

Vamos conhecer mais detalhadamente os perfis das ativistas em questão e o trabalho de conscientização que desenvolvem por meio das redes sociais? Siga os passos a seguir e tome nota dos seus achados:

- Busque informações sobre Alessandra Korap Munduruku e Amanda da Cruz Costa em pelo menos três fontes que não suas próprias redes sociais e complemente suas biografias com informações adicionais às que foram elencadas na introdução desta seção.
- O que diferencia essas ativistas de especialistas em questões ambientais e de sustentabilidade?
- Que fatores contribuem para que ativistas transmitam credibilidade na construção das mensagens que criam e disseminam em suas redes, ainda que não sejam especialistas nos temas que abordam?

Produção de conteúdo

Agora é a sua vez de usar as redes sociais para difundir conteúdos que possam contribuir para ampliar a consciência socioambiental de outras pessoas. Siga os passos abaixo:

- Primeiramente, forme um grupo com outros três ou quatro colegas e escolham um problema da sua comunidade escolar ou bairro com o qual a sua postagem irá contribuir para a resolução. Pense sobre o que é necessário que as pessoas da sua comunidade ampliem a responsabilidade ambiental (coleta ou descarte correto de lixo, preservação de rios ou bacias, etc.).
- Depois, pense no que o grupo deseja transformar, ou seja, após pesquisarem terem contato com o seu conteúdo, o que vocês desejam que seu público pense ou faça?
- Que efeitos você deseja causar no público e que tipo de mensagem precisará ser construída para atingir o objetivo pretendido junto ao público?
- Crie um esboço da sua postagem, que deve ser uma sequência de *cards* com uma mensagem informativa e engajadora.
- Execute a ideia. Use aplicativos gratuitos disponíveis na internet para a criação de postagens. Depois, apresente aos colegas e publique na sua rede social.

Autoavaliação

Após analisar seus pontos fortes e oportunidades de melhoria em seu processo de aprendizagem, anote em seu caderno o nível de desempenho para cada critério listado a seguir. Combine previamente com o professor o que é esperado para os níveis de desempenho: avançado, adequado, básico e iniciante. Seguem os critérios adotados para essa proposta:

- Explorar as redes sociais como espaços de comunicação de causas socioambientais.
- Refletir sobre aspectos relativos à credibilidade e autoridade discursiva de influenciadores digitais.
- Produzir mensagem informativa e engajadora acerca da sustentabilidade ambiental.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

UNIDADE 3

ÁGUA E ALIMENTOS

ADRIANO KIRIHARA/ PULSAR IMAGENS

Sistema de irrigação de lavoura de milho. Cristalina (GO), 2024.

O tema desta unidade também é trabalhado nos volumes de Biologia e de Física desta coleção.

A abertura proposta possibilita refletir sobre a disponibilidade de água no planeta Terra bem como o panorama global de acesso à água potável e a saneamento básico. O trabalho em conjunto dos componentes curriculares da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias pode se dar por meio de um debate sobre estratégias para ampliar o acesso à água potável a todos.

A agricultura é responsável pelo consumo de cerca de 72% de toda a água doce captada no planeta e, embora a água seja um recurso natural renovável, sua utilização excessiva e a poluição representam uma ameaça à manutenção desse recurso. O crescimento acelerado da população mundial leva ao aumento da demanda de alimentos e de água potável. Portanto, faz-se cada vez mais necessária uma gestão hídrica sustentável.

De acordo com dados da Organização Mundial da Saúde (OMS) divulgados em 2022, cerca de 25% da população mundial não tem acesso a água potável e 46% não tem acesso a saneamento básico.

Nesta unidade, vamos explorar os aspectos físico-químicos da água potável e as possibilidades para sua obtenção. Também abordaremos a cinética química envolvida na conservação dos alimentos e a produção de fertilizantes nitrogenados e sua relação com a agricultura.

Pense nisso!

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

1. O planeta Terra tem cerca de 70% de sua superfície coberta por água. Explique por que, mesmo assim, a escassez de água é um problema de ordem mundial.
2. Que características uma amostra de água deve apresentar para que seja considerada potável?
3. Quais métodos para tornar a água potável você conhece?
4. Quais métodos de conservação de alimentos você conhece? Explique como você acha que esses métodos são capazes de retardar o processo de deterioração natural dos alimentos.
5. Você considera possível que os produtos de uma reação química reajam entre si e formem os reagentes originais outra vez? Por quê?

Capítulo 9

Água potável: parâmetros físico-químicos

ODS 6

UGUR KARAKOC/E+/GETTY IMAGES

Devemos consumir água regularmente, aumentando o volume ingerido em dias quentes e secos e quando realizamos atividades físicas.

O ser humano pode sobreviver vários dias ou até algumas semanas sem alimentos, mas não resiste muitos dias sem ingerir água. Segundo a OMS, devemos ingerir diariamente pelo menos 35 mL de água por quilograma de massa corporal, sendo que esse valor pode aumentar em dias quentes ou quando se realizam atividades físicas intensas. Isso significa que, por exemplo, uma pessoa com massa corpórea de 85 kg deve consumir, no mínimo, cerca de 3 litros de água por dia, enquanto uma pessoa com massa corpórea menor, como 60 kg, deve consumir um volume menor de água, no caso, cerca de 2 litros diários.

Neste capítulo, vamos identificar os conceitos de água mineral natural, água potável de mesa e água adicionada de sais minerais. Vamos, ainda, analisar as propriedades da água, como a capacidade de dissolver substâncias e, dependendo da substância dissolvida, conduzir eletricidade. Por fim, vamos classificar as soluções em função da quantidade de substâncias dissolvidas.

Água mineral natural

Segundo dados da Associação Brasileira da Indústria de Água Mineral (Abinam), o consumo de água mineral vem crescendo acentuadamente na última década. Isso se deve, por um lado, à ausência de bebedouros públicos em condições adequadas nos municípios e, por outro, à preocupação cada vez maior com a saúde.

No Brasil, segundo a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), existe uma diferença entre a água mineral natural, a água potável de mesa e a água adicionada de sais minerais. Esses três tipos de água podem ser provenientes de fontes naturais (de origem espontânea ou nascentes) ou de poços perfurados para a extração de água subterrânea. No entanto, as **águas minerais naturais** apresentam composição química ou propriedades físico-químicas que lhes conferem efeito terapêutico. Já as **águas potáveis de mesa** atendem apenas às condições de potabilidade vigentes – ou seja, o conjunto de valores máximos permitidos de

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

substâncias químicas e microrganismos nocivos à saúde determinado pelo Ministério da Saúde. As **águas adicionadas de sais minerais**, por sua vez, são águas potáveis que recebem, a cada litro de solução, a adição de pelo menos 30 miligramas de sais, geralmente compostos de íons bicarbonato (HCO_3^-), carbonato (CO_3^{2-}), citrato ($C_6H_5O_7^{3-}$), cloreto ($C\ell^-$), sulfato (SO_4^{2-}), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), potássio (K^+) e sódio (Na^+).

As águas minerais se tornam naturalmente enriquecidas de sais minerais e têm sua composição definida pelo contato com rochas e sedimentos por entre os quais se deslocam. Em função das características desses materiais e do tempo de contato com eles, a água adquire quantidades diferentes de sais minerais, podendo ser classificada como de baixa, média ou alta mineralização. Essa característica é avaliada em função do resíduo da evaporação a 180 °C da água, que equivale à massa total de sólidos dissolvidos por volume de água mineral, medida em mg L^{-1}.

Além da composição química em termos de íons, expressa em miligramas por litro (mg L^{-1}), os rótulos das águas minerais também apresentam informações a respeito de algumas características físico-químicas. Entre elas a **radioatividade**, fenômeno relacionado à instabilidade núcleo atômico que emite energia na forma de radiação. No monitoramento das propriedades da água mineral, embora existam outras substâncias radioativas, esse parâmetro refere-se apenas à presença do gás radônio, sendo medido em becquerel por litro (Bq L^{-1}) ou maches.

As águas minerais também podem ser classificadas de acordo com a predominância de outras substâncias (além da água). Quando há mais de um componente relevante, seja por sua ação terapêutica ou por sua raridade, a água mineral é classificada como mista.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Rótulo de uma embalagem de água mineral natural.

No rótulo representado, a água foi classificada em função da presença de radônio, elemento químico radioativo, e de flúor, importante na prevenção da cárie dentária. Ela também pode ser classificada como de baixa mineralização, por apresentar resíduo de evaporação a 180 °C menor que 100 mg de sais dissolvidos por litro de água mineral.

Fique por dentro

Introdução à química da água: ciência, vida e sobrevivência

LENZI, E.; FAVERO, L. O. B.; LUCHESE, E. B. **Introdução à química da água**: ciência, vida e sobrevivência. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

A obra apresenta informações teóricas sobre a química da água e sua poluição, além de pactos e tratados que regulamentam seu uso.

Propriedades das soluções

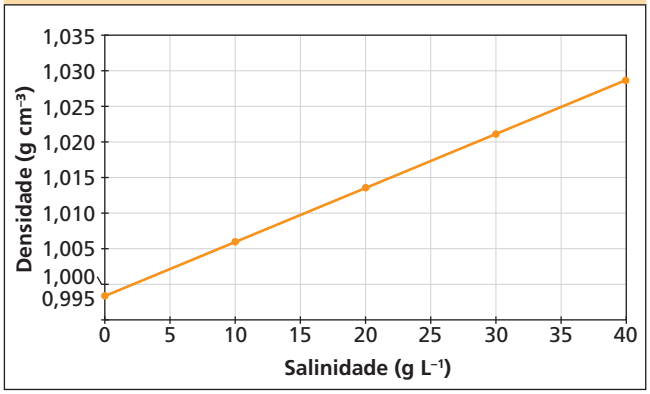
Você já deve ter percebido que a água que geralmente consumimos não é a substância pura H_2O (ℓ), mas sim uma solução, ou seja, uma mistura homogênea na qual as partículas que a constituem ficam tão uniformemente distribuídas que a composição e as propriedades em qualquer parte do líquido são idênticas. A propriedade da matéria que se relaciona à formação de soluções é a **solubilidade**.

As soluções são caracterizadas por sua composição química e pelas proporções entre as entidades elementares presentes. Qualitativamente, podemos classificar os componentes de uma solução em duas categorias: o **solvente** – material presente em maior quantidade na mistura – e o **soluto** – material presente em menor quantidade. Nas águas minerais, por exemplo, a água é o solvente e os sais minerais são os solutos. Quantitativamente, as soluções são definidas por um parâmetro denominado **concentração**, o qual expressa a razão entre a quantidade de soluto e a quantidade de solução. Por exemplo, nas águas adicionadas de sais minerais, a concentração mínima total de sais é 30 mg L^{-1}.

A concentração, assim como a natureza química dos materiais, influencia as propriedades do sistema formado. Para demonstrar essa influência, analise o efeito da salinidade, ou seja, o efeito do aumento da quantidade de sais dissolvidos em água na densidade do sistema formado de acordo com o gráfico.

Observe no gráfico que a reta se inicia com o solvente puro (salinidade 0 g L^{-1}) e vai crescendo, o que indica o aumento do teor de sais na solução proporcional ao aumento da densidade do sistema.

Densidade × salinidade da solução aquosa a 20 °C



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em BOYD, C. E. Physical Properties of Water. *In*: BOYD, C. E. **Water Quality**. Cham: Springer, 2020.

Representação gráfica do efeito da quantidade de sais dissolvidos na densidade de uma solução aquosa.

Solubilidade

Quando duas substâncias solúveis entre si são colocadas em contato e soluto e solvente vão se misturando gradativamente até atingirem uma distribuição homogênea, dizemos que ocorreu um processo de **dissolução**. Isso pode ser compreendido se considerarmos que as partículas (íons, moléculas e outras espécies químicas) do soluto e do solvente se movimentam constantemente de forma aleatória.

Processo de dissolução

FOTOS: GIPHOTOSTOCK/SCIENCE SOURCE/FOTOARENA; ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação do processo de dissolução de um soluto em um solvente incolor, por meio do modelo de partículas. **(A)** As partículas de soluto (representadas pelas esferas cinza-escuro) começam a se misturar às partículas do solvente (representadas pelas esferas cinza-claro). **(B)** Após algum tempo, as partículas do soluto e do solvente estão homogeneamente distribuídas. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

A solubilidade depende de vários fatores, como a natureza química dos materiais que são colocados em contato. Há materiais que interagem favoravelmente em qualquer proporção, como a água e o etanol. Da mesma forma, há materiais que não interagem em grande extensão, como a água e o petróleo, e são classificados como **imiscíveis**.

Ao explorar o tópico, enfatize que não significa que a solubilidade dos materiais considerados insolúveis seja igual a zero, mas muito próxima de zero.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Saturação

A maioria dos solutos apresenta, em um solvente, um **limite de solubilidade**, o qual depende das condições de temperatura e pressão.

Limite de solubilidade de algumas substâncias em água a 25 °C e 1 atm

Substância	Fórmula molecular	Solubilidade (g/100 g de H_2O)
Etanol	C_2H_6O	∞
Sacarose	$C_{12}H_{22}O_{11}$	205,0
Cloreto de sódio	$NaC\ell$	36,0
Sulfato de cálcio	$CaSO_4$	0,205
Carbonato de cálcio	$CaCO_3$	0,0011

Fonte: HAYNES, W. M. (ed.). **CRC Handbook of Chemistry and Physics**. 97th ed. Boca Raton, FL: CRC Press; Taylor and Francis, 2017.

Comparação da solubilidade de algumas substâncias a 25 °C a 1 atm.

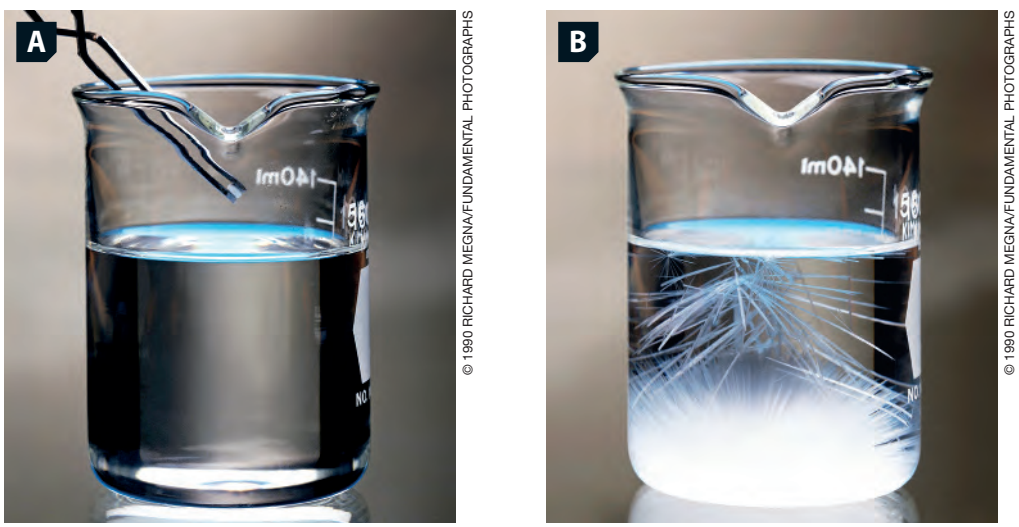
Quando o limite de solubilidade é atingido, forma-se uma solução que tem a quantidade máxima de soluto dissolvido. Se for adicionado mais soluto a esta solução, a quantidade de solvente disponível não será suficiente para solubilizar esse excedente. Nessa situação, forma-se uma mistura heterogênea, em que são observadas duas fases: a sólida, formada pela parte não solubilizada, que chamamos de **corpo de fundo** ou **corpo de chão**, e a líquida, que é a **solução saturada**. Nesta condição saturada, observa-se um equilíbrio dinâmico entre o soluto dissolvido e o não dissolvido, ou seja, a rapidez com que as partículas de soluto se dissolvem é igual à rapidez com a qual elas sedimentam.

No entanto, quando a quantidade de soluto adicionada é inferior ao limite de solubilidade, forma-se uma **solução insaturada**. Assim, a 25 °C e 1 atm, uma solução que tenha 100 g de água e 10,5 g de cloreto de sódio dissolvidos está insaturada, uma vez que, nessa quantidade de água, ainda é possível dissolver 25,5 g de soluto, de acordo com a tabela apresentada nesta página.

Em algumas situações, as soluções podem conter mais soluto dissolvido do que o previsto pelo limite de solubilidade para dada condição de temperatura e pressão. Nesses casos, forma-se uma **solução supersaturada**. Como, para a maioria dos solutos, quanto menor a temperatura do solvente menor a solubilidade, geralmente soluções supersaturadas são obtidas pela diminuição lenta e controlada da temperatura. Mas essa é uma situação instável: qualquer perturbação, como um choque físico, causa a rápida precipitação do excesso de soluto, formando-se uma solução saturada com corpo de fundo.

Quando se adiciona um pequeno cristal de soluto a uma solução supersaturada, há uma perturbação desse sistema. O cristal adicionado atua como um **núcleo de cristalização** – partícula sobre o qual o soluto em excesso se cristaliza. Observe a seguir um exemplo desse fenômeno.

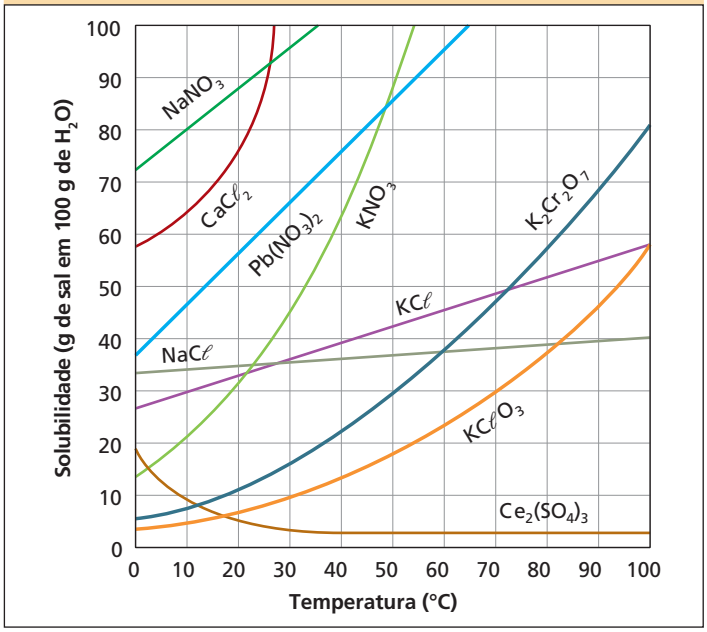
Alerte os estudantes sobre o uso do termo **precipitado** em algumas referências. Nesta obra, reservamos essa denominação ao produto insolúvel formado em reações químicas.



(A) Adição de pequena porção de acetato de sódio ($NaCH_3CO_2$) sólido em solução aquosa supersaturada de acetato de sódio. **(B)** Formação de cristais (cristalização) de acetato de sódio.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Solubilidade de alguns sais em água em função da temperatura



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: BROWN, T. L. *et al.* **Chemistry**: The Central Science. 14th ed. New York: Pearson, 2018.

Representação gráfica da solubilidade de sais em água em função da temperatura.

Curva de solubilidade

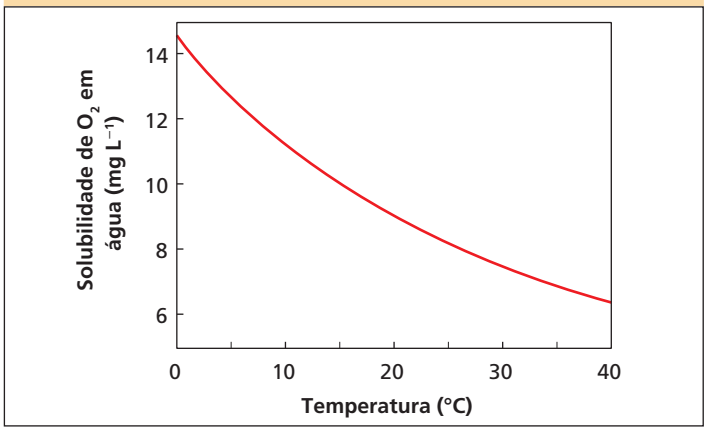
O gráfico que apresenta os limites de solubilidade do soluto em determinado solvente, a diferentes temperaturas, é denominado **curva de solubilidade**. Os pontos que constituem as respectivas curvas são obtidos experimentalmente. Podemos interpretar que as condições abaixo da curva de solubilidade traçada podem levar à formação de soluções insaturadas; e as condições acima da curva podem levar à formação de soluções supersaturadas.

Observe pelas curvas do gráfico **Solubilidade de alguns sais em água em função da temperatura** que a solubilidade do sulfato de cério(III), $Ce_2(SO_4)_3$, decresce e em seguida se mantém estável com o aumento da temperatura – embora a tendência dos outros sais seja o oposto.

Compare a curva do cloreto de sódio ($NaC\ell$) com a do nitrato de sódio ($NaNO_3$). É possível notar que a influência da temperatura na solubilidade do nitrato de sódio é maior do que na do cloreto de sódio, pois a curva do $NaNO_3$ tem uma inclinação mais acentuada que a curva do $NaC\ell$. Além disso, as curvas de solubilidade permitem prever quais solutos são mais solúveis em água ou menos, a determinada temperatura. Por exemplo: a 10 °C, o nitrato de sódio é o sal mais solúvel, com solubilidade de 80 g de $NaNO_3$ em 100 g de H_2O; já o clorato de potássio é o menos solúvel, com solubilidade de 5 g de $KC\ell O_3$ em 100 g de H_2O. Esse tipo de informação é útil, por exemplo, quando se deseja realizar processos de separação de misturas, como a **dissolução fracionada**.

Outra situação em que a análise das curvas de solubilidade se torna útil é na purificação de compostos por **recristalização**. Para realizar esse processo, necessita-se de um solvente cuja substância de interesse se solubilize pouco em baixas temperaturas, mas que seja bastante solúvel em temperaturas elevadas. Analisando o gráfico **Solubilidade de alguns sais em água em função da temperatura**, é possível notar que a purificação por recristalização a partir de uma solução aquosa é mais eficiente para o dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) do que para o $NaC\ell$.

Solubilidade do gás oxigênio em água em função da temperatura a 1 atm



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: FIORUCCI, A. R.; BENEDETTI FILHO, E. A importância do oxigênio dissolvido em sistemas aquáticos. **Química Nova na Escola**, n. 22, 2005.

Representação gráfica da solubilidade do gás oxigênio em água em função da temperatura.

Além dos sólidos e dos líquidos, os gases também se dissolvem em água. Analise no gráfico a seguir a curva de solubilidade do gás oxigênio (O_2) em água em função da temperatura a 1 atm.

Assim como no caso do gás oxigênio, a maioria dos solutos gasosos torna-se menos solúvel com o aumento da temperatura do solvente.

A diminuição da solubilidade do gás oxigênio em água com o aumento da temperatura é um dos efeitos da poluição térmica em lagos e rios, que é causada, geralmente, por despejos industriais, como água proveniente do resfriamento de caldeiras. Além do escape do gás oxigênio decorrente do aumento da temperatura, a água aquecida é menos densa do que a encontrada naturalmente em rios e lagos. Assim, essa água tende a permanecer na parte superior, impedindo que o gás oxigênio seja dissolvido nas partes mais profundas, prejudicando a vida nesse ambiente.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADE COMENTADA

Considere que o limite de solubilidade do cloreto de potássio (KCℓ) seja de 30,9 g em 100 g de água a 10 °C e 37 g em 100 g de água a 30 °C. Um químico preparou uma solução saturada de KCℓ usando 400 g de água a 30 °C. Em seguida, a solução foi resfriada para 10 °C, sob agitação. Determine se, após o resfriamento da solução, haverá ou não a presença de corpo de fundo e, em caso afirmativo, determine sua massa.

Analisar o enunciado

O problema envolve a solubilidade do sal cloreto de potássio (KCℓ) em água a diferentes temperaturas. Precisamos determinar se, após resfriar uma solução saturada de KCℓ de 30 °C para 10 °C, parte do sal antes dissolvido formará uma fase sólida – corpo de fundo – na amostra e, se sim, calcular a massa do corpo de fundo. É importante lembrar que o corpo de fundo é formado por excesso de soluto.

Selecionar as informações relevantes

Temos as seguintes informações:

- Limite de solubilidade do KCℓ a 10 °C: 30,9 g a cada 100 g de água.
- Limite de solubilidade do KCℓ a 30 °C: 37 g a cada 100 g de água.
- Solução saturada de KCℓ.
- Quantidade de água usada: 400 g.
- Inicialmente, a solução foi preparada a 30 °C e, em seguida, resfriada para 10 °C.

Aplicar o conceito estudado

Para determinar se, após o resfriamento da solução, haverá ou não a presença de corpo de fundo, precisamos, inicialmente, calcular a quantidade máxima de KCℓ que pode ser dissolvida a 30 °C. O limite de solubilidade do KCℓ a 30 °C é 37 g em 100 g de água. Portanto, a quantidade máxima de KCℓ que pode ser dissolvida em 400 g de água a 30 °C é:

$$\frac{37\text{ g de KC}\ell}{100\text{ g de água}} \cdot 400\text{ g de água} = 148\text{ g de KC}\ell$$

Se a solução foi preparada saturada a 30 °C, significa que inicialmente havia 148 g de KCℓ dissolvidos em 400 g de água. Portanto, essa é a quantidade de KCℓ presente inicialmente na solução.

Em seguida precisamos calcular a quantidade máxima de KCℓ que pode ser dissolvida a 10 °C. Sabendo que o limite de solubilidade do KCℓ a 10 °C é de 30,9 g em 100 g de água, podemos calcular a quantidade máxima de KCℓ que pode ser dissolvida em 400 g de água a 10 °C:

$$\frac{30{,}9\text{ g de KC}\ell}{100\text{ g de água}} \cdot 400\text{ g de água} = 123{,}6\text{ g de KC}\ell$$

Assim, podemos comparar a quantidade de KCℓ presente na solução inicial com a quantidade máxima a 10 °C. Inicialmente, havia 148 g de KCℓ na solução a 30 °C, mas a quantidade máxima que pode ser dissolvida a 10 °C é de 123,6 g. Isso significa que, ao resfriar a solução, o KCℓ em excesso formará uma fase sólida que se depositará no fundo do recipiente.

Para calcular a massa da fase sólida na amostra resfriada, subtrai-se a quantidade máxima de KCℓ que pode ser dissolvida a 10 °C da quantidade inicial de KCℓ:

$$148\text{ g} - 123{,}6\text{ g} = 24{,}4\text{ g}$$

Portanto, a massa do corpo de fundo formada após o resfriamento da solução de 30 °C para 10 °C será de 24,4 gramas de KCℓ.

Verificar a solução

Para verificar se a resposta encontrada é razoável, podemos comparar a massa do corpo de fundo formada com a massa inicial do sal KCℓ dissolvido na solução inicial. A resposta é, necessariamente, menor que a quantidade inicial do sal, visto que uma porção desse sal ainda estará dissolvida na solução final (solução saturada com corpo de fundo). Podemos concluir, assim, que a resposta é razoável.

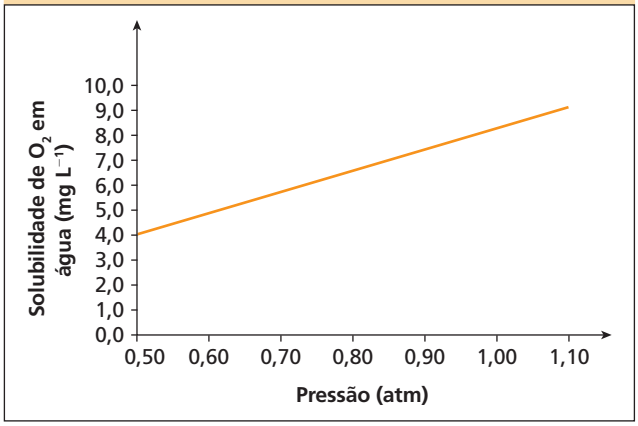
Variação da solubilidade em função da pressão

A solubilidade de sólidos e líquidos, diferentemente da solubilidade dos gases, não é afetada consideravelmente pela pressão.

Um exemplo da influência da pressão sobre a solubilidade de gases pode ser verificado em bebidas gaseificadas. Durante sua fabricação, certa quantidade de dióxido de carbono (CO_2 (g)) é injetada no líquido sob alta pressão. Quando abrimos a garrafa, a pressão interna diminui, igualando-se à pressão atmosférica. Como consequência, a solubilidade do gás diminui, fazendo com que parte dele escape do líquido. O som emitido quando se abre uma garrafa de bebida gaseificada e as bolhas que se formam no líquido são evidências do escape de gás.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Solubilidade do gás oxigênio em água em função da pressão a 25 °C



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em DOTABLES. **The U.S. Geological Survey (USGS)**. Disponível em: https://water.usgs.gov/water-resources/software/DOTABLES/. Acesso em: 27 jun. 2024.

Representação gráfica da solubilidade do gás oxigênio em água em função da pressão.

Analise o gráfico **Solubilidade do gás oxigênio em água em função da pressão a 25 °C**.

Note que, à medida que a pressão aumenta, a solubilidade do gás oxigênio em água também aumenta. Foi o químico inglês William Henry (1775-1836) quem verificou, no início do século XIX, que, a dada temperatura, a quantidade de partículas do gás solubilizada em um líquido é diretamente proporcional à pressão do gás na superfície do líquido.

Matematicamente, temos:

$$s = k_H p$$

em que

s = solubilidade do gás dada em mol L^{-1};

p = pressão do gás sobre o líquido dada em atm;

k_H = constante de Henry dada em mol L^{-1} atm^{-1}.

Além da temperatura e do solvente, a constante de Henry (k_H) também depende do gás; ou seja, se fizéssemos um gráfico da solubilidade em água em função da pressão para diferentes gases, observaríamos que as inclinações das retas seriam diferentes.

E como é a solubilidade dos gases quando trabalhamos com misturas gasosas em vez de gases puros?

Um manômetro mede apenas a pressão total do sistema. No entanto, segundo a **lei de Dalton**, a **pressão total** (p_{total}) de uma mistura gasosa é a soma das pressões que cada gás exerceria se estivesse presente sozinho no sistema. Isso significa que idealmente cada gás na mistura se comporta de forma independente. As pressões individuais dos constituintes gasosos da mistura, chamadas de **pressões parciais**, dependem apenas da quantidade de partículas de gás, não de sua natureza química.

A unidade de medida utilizada por químicos para indicar a quantidade das entidades elementares constituintes das substâncias, sejam partículas subatômicas, átomos, íons ou moléculas, é o **mol**, cujo símbolo também é mol. Pela definição do Sistema Internacional de Unidades (SI), um mol contém exatamente $6{,}02214076 \cdot 10^{23}$ entidades elementares, ou, para fins de cálculos apenas $6{,}022 \cdot 10^{23}$, número conhecido como **constante de Avogadro** (N_A). A grandeza **quantidade de substância** (n) é a representação do número de entidades elementares em um sistema.

Assim, podemos escrever para um gás A:

$$p_A = \left(\frac{n_A}{n_{total}}\right) p_{total}$$

em que

p_A = pressão parcial do gás A;

$\frac{n_A}{n_{total}}$ = fração em quantidade de substância do gás A (a qual também é representada como X_A).

Por exemplo, a fração em quantidade de substância do gás oxigênio no ar é 0,21. Isso significa que 21% das partículas constituintes do ar são moléculas de O_2. Se a pressão atmosférica for 1 atm, a pressão parcial do O_2 será:

$$p_{O_2} = X_{O_2}\, p_{total} \Longrightarrow p_{O_2} = 0{,}21 \cdot 1 \text{ atm} \therefore p_{O_2} = 0{,}21 \text{ atm}$$

Se a constante de Henry para o O_2 em água e a 20 °C for $k_H = 1{,}3 \cdot 10^{-3}$ mol L^{-1} atm^{-1}, a solubilidade do gás oxigênio nessas condições será:

$$s_{O_2} = k_H\, p_{O_2} \Longrightarrow s_{O_2} = 1{,}3 \cdot 10^{-3} \text{ mol L}^{-1} \text{ atm}^{-1} \cdot 0{,}21 \text{ atm} \therefore s_{O_2} = 0{,}27 \cdot 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Soluções eletrolíticas e não eletrolíticas

Determinadas soluções são boas condutoras de corrente elétrica e outras, não. Esse fato pode ser observado experimentalmente, como mostrado nas imagens A, B e C. Você consegue imaginar qual é a explicação para esse fenômeno?

No século XIX, o físico e químico inglês Michael Faraday (1791-1867) introduziu o conceito de **íon** – uma espécie química capaz de transportar carga elétrica – para explicar a condução de corrente elétrica em soluções. Algum tempo depois, o físico alemão Johann Wilhelm Hittorf (1824-1914) demonstrou que os íons se movimentavam em solução e mediu a capacidade de transporte de carga elétrica dessas partículas.

Esses e outros modelos explicativos foram estudados pelo químico sueco Svante Arrhenius (1859-1927), que, em 1887, apresentou uma teoria que abordava as soluções, considerando a dissolução das substâncias em água. De acordo com essa teoria, conhecida como **teoria eletrolítica de Arrhenius**, as partes que formam uma substância podem se separar em solução conservando cargas elétricas opostas, ou seja, liberando íons em maior extensão (figura A) ou menor extensão (figura B). Ao aplicar um potencial elétrico, os íons se movem para os polos com cargas opostas. Há, porém, substâncias que não formam íons livres em solução, o que explica a diferença de comportamento entre elas em relação à condutividade elétrica (figura C).

Atualmente, sabe-se que em uma solução ocorrem interações entre as partículas do soluto e as do solvente. Em outras palavras, quando um soluto é dissolvido em um solvente, algumas interações químicas podem ser rompidas e outras, formadas, em um processo conhecido como **solvatação**.

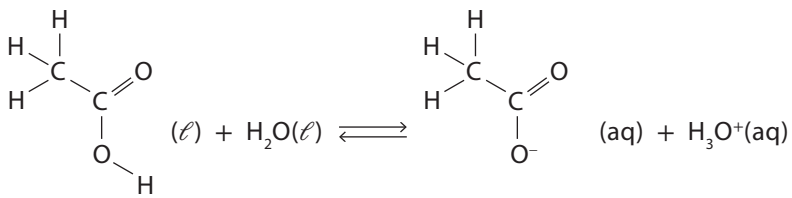
Por exemplo, no caso da solução de NaCℓ, os íons do sal cloreto de sódio se separam, ou seja, a substância passa por uma **dissociação iônica** e se solubiliza. Soluções em que ocorre esse processo são denominadas **soluções eletrolíticas**, e seus solutos, como o NaCℓ dissociado, são chamados **eletrólitos**.

No caso do NaCℓ, a dissociação iônica em água pode ser equacionada da seguinte forma:

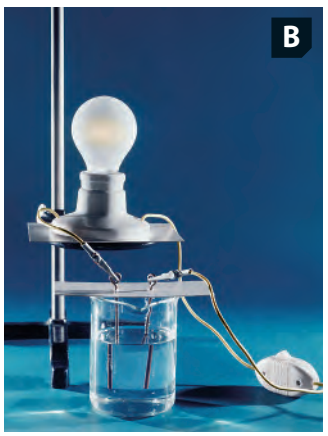
$$NaC\ell(s) \xrightarrow{H_2O} Na^+(aq) + C\ell^-(aq)$$

A fórmula da água sobre a seta de reação indica que o processo ocorre em meio aquoso, e o símbolo (aq), logo após o símbolo do íon, indica que a espécie química se encontra solvatada por moléculas de água. Por simplificação, as moléculas de água de solvatação não são representadas.

Alguns compostos moleculares também formam soluções eletrolíticas em meio aquoso, como o ácido acético ($C_2H_4O_2$). O que explica a condução de corrente elétrica na solução de ácido acético é a formação de íons decorrente da reação entre as moléculas da água e as do ácido. Essa reação leva ao rompimento da ligação covalente (representada como um traço nas fórmulas químicas da equação a seguir) entre o oxigênio e o hidrogênio em algumas moléculas do ácido. Como o rompimento da ligação é heterolítico, o oxigênio fica com o par de elétrons – antes compartilhado – e adquire carga líquida negativa; o hidrogênio deficiente em elétrons liga-se à molécula de água, formando o íon oxônio (H_3O^+). Esse processo, denominado **ionização**, pode ser equacionado, no caso do ácido acético, da seguinte forma:



Contudo, na maioria dos compostos moleculares solúveis em água, as moléculas são solvatadas sem que ocorra ionização. Soluções com essa característica apresentam



FOTOS: © 1970 GEORGE RESCH/FUNDAMENTAL PHOTOGRAPHS

Teste de condutividade elétrica para três soluções aquosas nas mesmas condições de temperatura e pressão contendo a mesma concentração de soluto.
(A) Solução de cloreto de sódio.
(B) Solução de ácido acético.
(C) Solução de glicose.

Como o conceito de equilíbrio químico será estudado apenas no capítulo 12, optamos neste momento por representar as reações apenas como reversíveis, usando as setas duplas de ponta cheia.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

baixa condutividade elétrica, o que explica a ausência de brilho perceptível da lâmpada ("figura C" do início deste tópico), sendo denominadas **não eletrolíticas**.

Na dissolução da glicose ($C_6H_{12}O_6$) em água, por exemplo, a interação entre as moléculas de ambas as substâncias não leva ao rompimento das ligações entre os átomos das moléculas da glicose. Dizemos que a glicose se dissolveu, processo que pode ser equacionado da seguinte forma:

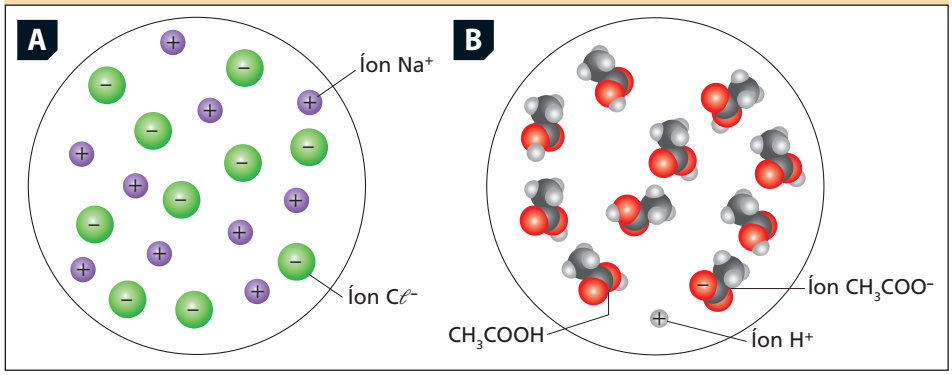
$$C_6H_{12}O_6(s) \xrightarrow{H_2O} C_6H_{12}O_6(aq)$$

Com base no que foi discutido até o momento, uma proposta para explicar a diferença de condutividade elétrica entre as soluções de cloreto de sódio e de ácido acético é considerar que o mesmo número de partículas elementares dissolvidas forma quantidades diferentes de íons em solução. Esse percentual de íons em meio aquoso é denominado **grau de ionização** (***α***).

$$\alpha = \frac{\text{número de moléculas ionizadas}}{\text{número de moléculas dissolvidas}} \cdot 100\%$$

Quanto mais próximo de 100% for o grau de ionização, mais forte é o eletrólito. Esse é o caso do cloreto de sódio. Por outro lado, em uma solução de concentração 0,6 g L^{-1}, a 25 °C, cerca de 4% do ácido acético encontra-se ionizado. Portanto, ele é considerado um eletrólito fraco.

Representação das espécies químicas cloreto de sódio e ácido acético em soluções aquosas



Fonte: elaborado com base em ATKINS, P. W.; JONES, L.; LAVERMAN, L. **Princípios de Química**: questionando a vida moderna e o meio ambiente. 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2018.

Representação esquemática em nível submicroscópico dos solutos cloreto de sódio **(A)**, um eletrólito forte, e ácido acético **(B)**, um eletrólito fraco, em soluções aquosas de mesma concentração. Para simplificação, as moléculas de água foram omitidas. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Fique por dentro

Teste de condutividade elétrica de soluções

UNIVERSITY OF COLORADO BOULDER. **PhET Interactive Simulations**: Soluções ácido-base. Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/acid-base-solutions/latest/acid-base-solutions_pt_BR.html. Acesso em: 27 jun. 2024.

Nesse simulador, é possível realizar o teste de condutividade elétrica de soluções eletrolíticas ácidas ou básicas e modificar, entre outras propriedades, a concentração e a força.

Além de poder avaliar qualitativamente a condutividade elétrica das soluções, como demonstrado no teste de condutividade das figuras A, B e C da página anterior, é possível medi-la quantitativamente por meio de um equipamento denominado **condutivímetro**. Esse equipamento fornece medidas em siemens por metro (S m^{-1}). A condutividade elétrica das soluções depende do tipo de íon presente, da concentração total de íons dissolvidos e da temperatura.

Observe novamente a representação do rótulo de água mineral, em que o valor de condutividade elétrica reportado é 74 µS cm^{-1}, a 25 °C. Segundo dados da Fundação Nacional de Saúde (Funasa), as águas naturais apresentam valores na faixa de 10 µS cm^{-1} a 100 µS cm^{-1}, enquanto em corpos de água poluídos por esgotos domésticos ou efluentes industriais os valores podem chegar a 1.000 µS cm^{-1}.

Um equipamento sensível como o condutivímetro é possível observar, até mesmo em soluções aquosas de não eletrólitos, uma pequena condução de corrente elétrica em função da **autoionização da água**:

$$H_2O(\ell) \rightleftharpoons H^+(aq) + OH^-(aq)$$

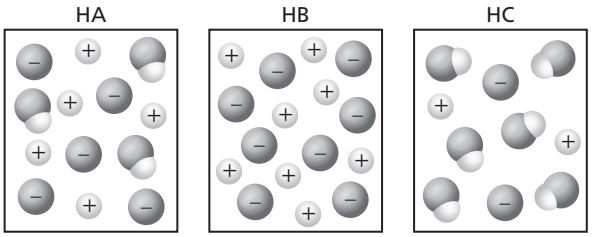
Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

1. Considere a representação esquemática de três soluções aquosas de ácidos genéricos cujas fórmulas são HA, HB e HC.

Ao realizar o teste de condutividade elétrica, qual dessas soluções deve gerar o brilho mais intenso da lâmpada? Justifique.



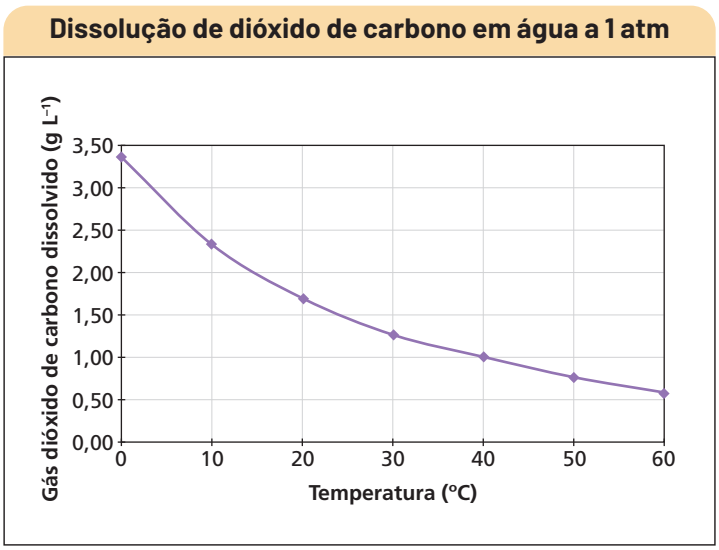
LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

2. Copie no caderno o modelo de quadro a seguir, completando-o.

Sistema	Massa de sacarose adicionada	Volume de água (mL)	Temperatura (°C)	Limite de solubilidade (g/100 mL de água)	Máxima massa de sacarose possível de se dissolver no volume de água indicado (g)	O sistema formado será homogêneo ou heterogêneo?
I	90	50	20	200		
II	1.200	500	20	200		
III	640	200	70	320		
IV	2.000	500	70	320		

MODELO

3. Considere a curva de solubilidade do dióxido de carbono em água:



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: GREEN, D. W.; SOUTHARD, M. Z. (ed.). **Perry's Chemical Engineers' Handbook**. 9th ed. New York: McGraw-Hill, 2019.

Representação gráfica da dissolução do dióxido de carbono em água em função da temperatura.

Em qual dos casos descritos a seguir deve-se esperar uma saída mais vigorosa de gás dióxido de carbono: ao abrir uma garrafa de refrigerante a 3 °C ou ao abrir uma garrafa desse mesmo refrigerante a 20 °C? Por quê?

4. (Udesc) A condutividade elétrica de um material depende muito do tipo de ligação química da qual o material é formado e do estado físico em que este se encontra. Sendo assim, materiais como prata, açúcar de cana (sacarose) e sal de cozinha (cloreto de sódio) apresentam comportamentos distintos quanto à condutividade elétrica. Em relação à condutividade elétrica indique a alternativa correta. 4. Alternativa **d**.

a. O açúcar é uma substância iônica que não conduz bem a eletricidade.

b. O açúcar é um bom condutor de corrente elétrica porque possui cargas livres em seu retículo cristalino molecular.

c. O cloreto de sódio fundido não conduz corrente elétrica.

d. Um objeto de prata é bom condutor de corrente elétrica porque apresenta elétrons livres em seu retículo cristalino metálico.

e. O cloreto de sódio é um bom condutor de corrente elétrica em temperaturas inferiores ao seu ponto de fusão.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Optamos nesta obra por utilizar as simbologias recomendadas pela IUPAC, embora geralmente seja empregada a letra *C* para representar a concentração comum.

Concentração

As soluções podem ser preparadas com diferentes proporções entre soluto e solvente, tendo como limite apenas a solubilidade do soluto. Como a **concentração** é a representação quantitativa dessas proporções, há diversas formas de expressá-la. Observe o exemplo a seguir.

FABIO YOSHIHITO MATSUURA/MOSAICO FOTOGRAFIA

Frasco de soro fisiológico com destaque para a concentração registrada em seu rótulo.

No rótulo do frasco de soro fisiológico da fotografia, a concentração de NaCℓ foi indicada de duas formas equivalentes: como porcentagem e como concentração em massa. A concentração de 9 mg mL^{-1} de cloreto de sódio garante que ele seja compatível com os fluidos corporais. Simplificadamente, isso indica que as células humanas em contato com o soro fisiológico não se desidratam e seus componentes não se diluem.

Concentração em massa

Na representação do rótulo de água mineral presente no tópico **Água mineral natural**, está descrito que a concentração de íons fluoreto (F^-) na água é 0,14 mg L^{-1}. Isso significa que em 1 litro de solução há 0,14 mg desse soluto dissolvido. Mas, como se trata de uma proporção, também significa que:

- em 500 mL de água mineral, há 0,07 mg de F^- dissolvido;
- em 2 L de água mineral, há 0,28 mg de F^- dissolvido.

Esse raciocínio implica que se tomarmos qualquer porção (alíquota) dessa água mineral, por exemplo, 1 mL ou 1 L, ela terá a mesma concentração.

Seguindo o mesmo princípio, sabendo que pela legislação brasileira (Portaria de Consolidação nº 5/2017 do Ministério da Saúde) a concentração máxima de fluoreto permitida na água considerada potável é 1,5 mg L^{-1}, podemos dizer que na água mineral analisada há cerca de dez vezes menos íons fluoreto por litro de solução que o limite estabelecido. Nesse caso, a água mineral analisada é **menos concentrada** ou **mais diluída**, porque contém menor massa de soluto por volume de solução do que o valor máximo permitido.

Ao expressarmos a quantidade de soluto em massa por volume de solução, como nos rótulos analisados e na legislação, estamos determinando a chamada **concentração em massa**.

Raciocínio semelhante ao apresentado pode ser empregado para determinar a concentração em massa de uma solução preparada por nós ou para definir a massa de soluto que precisamos medir para preparar certo volume de solução em uma concentração específica.

Imagine que você deseja preparar 500 mL (0,5 L) de soro fisiológico em casa. Qual é a massa de cloreto de sódio necessária para esse preparo? Observe os cálculos a seguir.

Massa de NaCℓ		**Volume da solução**
9 mg	———	1 mL
m_1(NaCℓ)	———	500 mL

$$m(\text{NaC}\ell) = \frac{9\ \text{mg} \cdot 500\ \text{mL}}{1\ \text{mL}} \therefore m(\text{NaC}\ell) = 4.500\ \text{mg} = 4{,}5\ \text{g}$$

Porcentagem em massa e em volume

Vários produtos industriais têm sua concentração expressa em **porcentagem em massa** ($\%_{m/m}$), como o teor de hipoclorito de sódio (NaCℓO) na água sanitária, que pode ser utilizada na desinfecção de frutas e hortaliças. Geralmente, a concentração indicada na embalagem desses produtos está entre 2,0% e 2,5%. Isso significa que, em 100 g de solução, há entre 2,0 g e 2,5 g de NaCℓO, ou que, em 100 mg de solução, há entre 2,0 mg e 2,5 mg desse soluto.

Alternativamente, pode-se expressar a concentração na forma decimal no lugar da porcentagem. Nesse caso, a medida de concentração passa a ser denominada **título** (τ). Assim, o **título em massa** de NaCℓO na solução que estamos analisando está entre 0,020 e 0,025. Note que, como se estabelece uma razão entre valores com mesma unidade de medida, o título da solução é adimensional. Perceba, também, que o título será sempre um número entre zero e um, uma vez que, por definição, a massa do soluto é sempre menor que a massa da solução.

De modo análogo, quando temos um soluto líquido ou gasoso, é possível apresentar a concentração das soluções por meio da **porcentagem em volume** ($\%_{V/V}$) desse constituinte:

$$\%_{V/V} = \frac{V(\text{soluto})}{V(\text{soluto}) + V(\text{solvente})} \cdot 100\%$$

Concentração em quantidade de substância

Também podemos estabelecer a relação entre a quantidade de matéria de um soluto e o volume de sua solução, em litros. Essa concentração é conhecida como **concentração em quantidade de substância** (*c*) e é muito utilizada no meio acadêmico.

Enfatize que uma das linhas da regra de três deve conter os dados que conhecemos (valores que referência) e, a outra, a informação que queremos descobrir. Incentive os estudantes a realizarem os cálculos incluindo as unidades de medida em todo o processo. Isso ajuda a evitar erros muito frequentes, como chegar à resposta final sem unidade de medida ou com unidade incorreta.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Vamos estudar o exemplo a seguir. Considere que, durante o preparo de uma água adicionada de sais, tenham sido solubilizados 117 mg de cloreto de sódio no volume total de 500 mL de solução. Para determinar a concentração em quantidade de substância dessa solução, primeiro é necessário calcular a quantidade de substância presente na massa de NaCℓ utilizada.

O fator de conversão utilizado nesse caso é a massa de um mol de substância, grandeza conhecida como **massa molar**, medida em g mol^{-1} e representada aqui pela letra ***M***. Ela pode ser obtida com o auxílio da tabela periódica, que apresenta os valores das massas dos elementos químicos envolvidos, como exemplificado a seguir.

$$M(\text{Na}) \simeq 23{,}0 \text{ g mol}^{-1}$$
$$M(\text{C}\ell) \simeq 35{,}5 \text{ g mol}^{-1}$$

Somando as massas molares dos elementos sódio e cloro, temos:

$$M(\text{NaC}\ell) \simeq (23{,}0 + 35{,}5) \text{ g mol}^{-1} \therefore M(\text{NaC}\ell) \simeq 58{,}5 \text{ g mol}^{-1}$$

Agora, podemos fazer o cálculo a seguir:

Quantidade de substância de NaCℓ		**Massa de NaCℓ**
1 mol	———	58,5 g
n_1(NaCℓ)	———	0,117 g

$$n_1(\text{NaC}\ell) = \frac{0{,}117 \text{ g} \cdot 1 \text{ mol}}{58{,}5 \text{ g}} \therefore n_1(\text{NaC}\ell) = 2 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

Em seguida, devemos calcular a quantidade de substância presente em 1 L de solução:

Quantidade de substância de NaCℓ		**Volume da solução**
$2 \cdot 10^{-3}$ mol	———	0,5 L
n_2(NaCℓ)	———	1,0 L

$$n_2(\text{NaC}\ell) = \frac{2 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot 1{,}0 \text{ L}}{0{,}5 \text{ L}} \therefore n_2(\text{NaC}\ell) = 4 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

Assim, para cada litro dessa solução, há $4 \cdot 10^{-3}$ mol ou 0,004 mol de cloreto de sódio. Essa concentração pode ser representada da seguinte forma: c(NaCℓ) ou [NaCℓ] = $4 \cdot 10^{-3}$ mol L^{-1}.

Vamos supor, agora, que no preparo dessa mesma água adicionada de sais, com volume de 500 mL, tenham sido solubilizados, também, 55 mg de cloreto de cálcio ($CaC\ell_2$). Considerando que essa substância se dissocia em água em cátions Ca^{2+} e ânions $C\ell^-$, como podemos determinar a concentração total em quantidade de substância de íons $C\ell^-$?

O primeiro passo é determinar a concentração em quantidade de substância de $CaC\ell_2$ na solução:

$$M(\text{CaC}\ell_2) = (40{,}1 + 35{,}5 \cdot 2) \text{ g mol}^{-1} \therefore M(\text{CaC}\ell_2) = 111{,}1 \text{ g mol}^{-1}$$

$$n = \frac{m}{n} \Rightarrow n(\text{CaC}\ell_2) = \frac{55 \cdot 10^{-3} \text{ g}}{111{,}1 \text{ g mol}^{-1}} \therefore n(\text{CaC}\ell_2) \simeq 0{,}5 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$c = \frac{n(\text{soluto})}{V(\text{solução})} \Rightarrow c(\text{CaC}\ell_2) = \frac{0{,}5 \cdot 10^{-3} \text{ mol}}{0{,}5 \text{ L}} \therefore c(\text{CaC}\ell_2) = 1 \cdot 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$$

O segundo passo é determinar a proporção em quantidade de substância entre $CaC\ell_2$ e seus íons. Para isso, precisamos escrever a equação química balanceada da dissociação do sal:

Equação química balanceada	$CaC\ell_2(s)$	$\xrightarrow{H_2O}$	$Ca^{2+}(aq)$ +	$2\ C\ell^-(aq)$
Proporção em quantidade de substância	1 mol		1 mol	2 mol
Concentração em quantidade de substância	$1 \cdot 10^{-3}$ mol L^{-1}		$1 \cdot 10^{-3}$ mol L^{-1}	$2 \cdot 10^{-3}$ mol L^{-1}

Perceba que, diferentemente do caso do NaCℓ, a dissociação do $CaC\ell_2$ resulta no dobro da concentração de ânions em relação à concentração da substância. Assim, considerando os dados obtidos, a concentração total em quantidade de substância de íons cloreto, provenientes do NaCℓ e do $CaC\ell_2$ na água adicionada de sais preparada é:

$$c(C\ell^-) = 4 \cdot 10^{-3} \text{ mol L}^{-1} + 2 \cdot 10^{-3} \text{ mol L}^{-1} \Rightarrow c(C\ell^-) = (4 + 2) \cdot 10^{-3} \text{ mol L}^{-1} \therefore c(C\ell^-) = 6 \cdot 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Caráter ácido-base

No exemplo do rótulo de água mineral analisado, uma das características físico-químicas informadas é a medida de **pH**. A sigla pH deriva do latim *pondus hydrogenii* (potencial de hidrogênio ou potencial hidrogeniônico) e representa uma medida do caráter ácido-base de soluções aquosas.

Em 1904, o fisiologista alemão Hans Friedenthal (1870-1943) recomendou a utilização da concentração em quantidade de substância dos íons H^+ para caracterizar soluções, uma vez que esse era um parâmetro crítico em sistemas biológicos.

Em 1909, Sören P. T. Sörensen (1868-1939), bioquímico dinamarquês diretor dos laboratórios de pesquisa de uma cervejaria em Copenhague, estabeleceu uma maneira mais conveniente que a notação científica para expressar a acidez de uma solução aquosa. Ele propôs utilizar o logaritmo negativo da concentração de H^+, representado pela sigla pH, o que permite obter valores positivos se a concentração for inferior a 1 mol L^{-1}:

Também é válida a equação: $pH = -\log[H_3O^+]$

$$pH = -\log[H^+]$$

A água pura, devido à autoionização das moléculas de H_2O, apresenta concentração em quantidade de substância de íons hidrogênio, $[H^+]$, e de íons hidróxido, $[OH^-]$, iguais a $1{,}0 \cdot 10^{-7}$ mol L^{-1}, a 25 °C.

A 25 °C, a **escala de pH** varia de 0 a 14, em que o valor 7,0 indica uma solução neutra, valores menores que 7,0 classificam as soluções como ácidas e valores maiores que 7,0 informam que as soluções são básicas ou alcalinas. Quanto mais ácida for uma solução, ou seja, quanto maior for a concentração em quantidade de substância de íons H^+ presentes, menor será o valor do pH. Assim, retomando o rótulo de água mineral, a água mineral analisada é levemente ácida.

É importante notar que a variação de uma unidade na escala de pH representa uma variação de dez vezes na concentração de íons H^+ e, portanto, no nível de acidez da solução, uma vez que a escala de pH não é linear, e sim logarítmica.

O pH de uma solução pode ser medido por meio de instrumentos denominados **pHmetros** (lê-se peagâmetros) e estimado com o uso de indicadores ácido-base – soluções que apresentam alteração em sua cor na presença de materiais ácidos ou básicos.

CHARLES D. WINTERS/SCIENCE SOURCE/FOTOARENA

O pH de uma solução preparada com polpa de tomate triturada, medido com um pHmetro, é indicado como 4,0.

O pH de soluções aquosas formadas pela dissolução de sais minerais

Observe a imagem de recipientes com soluções aquosas de alguns sais às quais foi adicionado o indicador ácido-base azul de bromotimol.

JUNIOR ROZZO/ROZZO IMAGENS

$NH_4C\ell$ $NaC\ell$ $NaHCO_3$

A diferença de cor das soluções ocorre pela presença do indicador azul de bromotimol, que fica amarelo em meio ácido, verde em meio neutro e azul em meio alcalino.

Podemos inferir que a solvatação dos íons Na^+ e $C\ell^-$ não afeta significativamente as propriedades ácido-base do solvente, uma vez que a solução formada por eles é neutra. No entanto, os ânions hidrogenocarbonato ou bicarbonato, $HCO_3^-(aq)$, são os responsáveis por tornar a solução aquosa de $NaHCO_3$ alcalina, ou seja, a solvatação dos íons Na^+ e HCO_3^- confere à solução pH > 7. Similarmente, os cátions amônio, $NH_4^+(aq)$, apresentam propriedade ácida, em que a solução formada por eles e pelos ânions cloreto tem pH < 7.

A reação de alguns íons com a água, formando uma solução ácida ou básica, é chamada de **hidrólise salina**. Considera-se que, nesses casos, após dissolução e dissociação, os cátions associam-se com os íons OH^- e, os ânions com os íons H^+ provenientes da autoionização da água, formando eletrólitos fracos. No exemplo da imagem, formam-se ácido carbônico, $H_2CO_3(aq)$, e hidróxido de amônio, $NH_4OH(aq)$, que são instáveis e se decompõem nos gases CO_2 e NH_3, respectivamente, além de água.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

$$NaHCO_3(s) \xrightleftharpoons{H_2O} Na^+(aq) + HCO_3^-(aq)$$
$$H_2O(\ell) \rightleftharpoons H^+(aq) + OH^-(aq)$$
$$HCO_3^-(aq) + H^+(aq) \rightleftharpoons H_2CO_3(aq)$$
$$NaHCO_3(s) + H_2O(\ell) \rightleftharpoons H_2CO_3(aq) + Na^+(aq) + OH^-(aq)$$

$$NH_4C\ell(s) \xrightleftharpoons{H_2O} NH_4^+(aq) + C\ell^-(aq)$$
$$H_2O(\ell) \rightleftharpoons H^+(aq) + OH^-(aq)$$
$$NH_4^+(aq) + OH^-(aq) \rightleftharpoons NH_4OH(aq)$$
$$NH_4C\ell(s) + H_2O(\ell) \rightleftharpoons <NH_4OH(aq)> + H^+(aq) + C\ell(aq)$$

Observe que, se analisássemos um sal formado por cátions e ânions com tendências iguais para se associarem respectivamente aos íons OH^- e H^+ oriundos da autoionização da água, formando eletrólitos fracos, o caráter da solução resultante seria neutro.

Retome a figura representativa do rótulo de água mineral, apresentada no início deste capítulo, e observe a presença de bicarbonato, um ânion que reage com a água conforme demonstrado. Note que o pH da água mineral não é 7.

Fique por dentro

Escala de pH

UNIVERSITY OF COLORADO BOULDER. **PhET Interactive Simulations**: escala de pH. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/ph-scale. Acesso em: 27 jun. 2024.

Nesse simulador, é possível testar o caráter ácido, básico ou neutro de materiais do cotidiano.

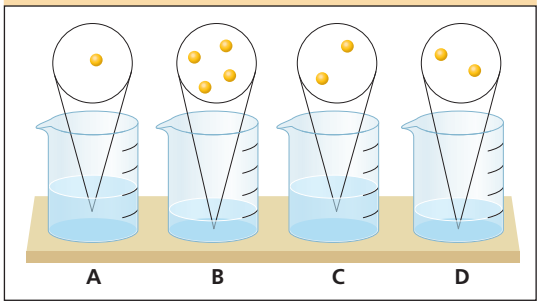
Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

5. Soluções são sistemas homogêneos nos quais não é possível distinguir visualmente as partículas de soluto e solvente. Contudo, imagine que fosse possível observar as partículas de soluto. Considere os esquemas de quatro soluções contendo mesmo soluto e mesmo solvente nas quais somente o total das partículas do soluto de cada solução está representado. Qual das soluções seria a mais diluída? E a mais concentrada? Explique.

Representação de soluções



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Por simplificação, as partículas do solvente não foram representadas. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

6. Sabendo que o teor máximo permitido de benzeno na água potável é de 0,005 mg L^{-1}, copie o quadro a seguir no caderno e complete-o com os valores adequados, considerando amostras de água nas quais o teor de benzeno atingiu o limite máximo permitido.

Sistema	Massa de benzeno	Volume de amostra de água
I	10 g	[redacted] L
II	[redacted] mg	10.000 mL
III	[redacted] g	12 m^3
IV	0,2 g	[redacted] cm^3

7. A fim de evitar cáries e ao mesmo tempo prevenir a fluorose dentária (condição caracterizada por manchas no esmalte dos dentes devido à ingestão excessiva de fluoreto), a quantidade de íons fluoreto consumida diariamente não deve ultrapassar 0,07 miligrama por quilograma de massa corporal. Ou seja, uma criança de 30 kg poderia consumir, com segurança, até 2,1 mg de íons fluoreto diariamente. O íon fluoreto não está presente somente no creme dental, mas também, por exemplo, na água mineral. Considerando a água mineral cujo rótulo foi apresentado no início do capítulo como a única fonte de íons fluoreto, qual seria o volume máximo dessa água que uma criança de 20 kg poderia consumir sem exceder o limite diário recomendado?

8. (Urca-CE) A hidrólise salina ocorre quando há reação entre um sal e água, produzindo o ácido e a base correspondente. A hidrólise do sal é a reação inversa da neutralização. Um sal formado por base forte e ácido fraco hidrolisa ao se dissolver em água, produzindo uma solução básica.
Esta é uma característica do: 8. Alternativa **a**.

a. Na_2S.
b. $NaC\ell$.
c. $(NH_4)_2SO_4$.
d. KNO_3.
e. NH_4Br.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADES DE FECHAMENTO

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. (UFJF-MG) Um estudante recolheu 1 litro de solução saturada de sulfato de cobre e, após deixar o recipiente por uma semana na temperatura ambiente, verificou a presença de cristais de sulfato de cobre e um volume de solução final de 700 mL. Sabendo-se que a solubilidade do sulfato de cobre é 22,3 g em 100 mL de água, nessa temperatura, qual a massa (em gramas) de sulfato de cobre precipitada? 1. Alternativa **b**.

a. 10,00
b. 66,9
c. 22,3
d. 156,1
e. 223,0

2. Um estudante realizou um experimento com o objetivo de avaliar o caráter eletrolítico das soluções aquosas formadas pelas substâncias gasosas brometo de hidrogênio (HBr) e bromo (Br_2). Ao borbulhar essas substâncias em água e realizar um teste de condutividade elétrica com o uso de lâmpada, ele observou que apenas na solução relativa ao HBr a lâmpada acendeu. Explique, por meio de equações químicas e modelos submicroscópicos, o processo ocorrido nesse experimento. **Nota dos autores:** por questão de simplificação, omita a representação das moléculas do solvente nos modelos submicroscópicos elaborados.

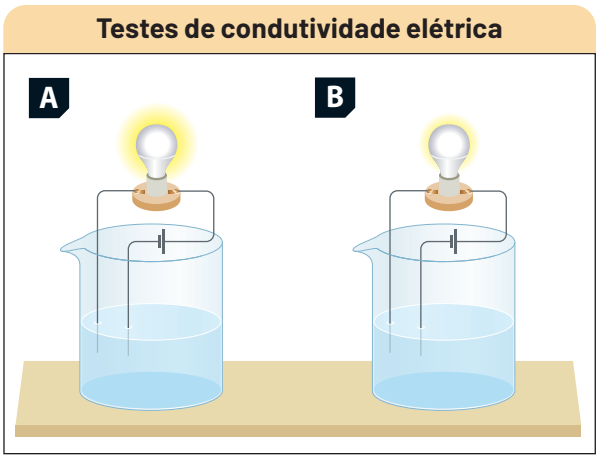
3. Um estudante de iniciação científica reproduziu um experimento publicado em um artigo a fim de obter uma solução de nitrato de chumbo(II), $Pb(NO_3)_2$. Ele adicionou 75 g de $Pb(NO_3)_2$ a um recipiente contendo 100 g de água a 20 °C e agitou a mistura para dissolver o sal.

a. Com base no gráfico **Solubilidade de alguns sais em água em função da temperatura**, apresentado neste capítulo, determine a massa de sal que será dissolvida e classifique a solução em insaturada, saturada ou supersaturada. Demonstre seu raciocínio.

b. Explique como seria possível obter a solução descrita no artigo, na qual 75 g de $Pb(NO_3)_2$ estão dissolvidos em 100 g de água a 20 °C.

4. Um estudante preparou duas soluções aquosas a fim de compará-las: uma de cloreto ferroso ($FeC\ell_2$) e outra de cloreto férrico ($FeC\ell_3$), ambas de concentração 0,2 mol L^{-1}.

a. Associe as figuras que representam o resultado do teste de condutividade elétrica das soluções mostradas a seguir a cada uma das substâncias. Considere 100% de dissociação iônica.



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática dos testes de condutividade elétrica realizados para o mesmo volume de solução recém-preparada. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

b. Sabendo que o $FeC\ell_3$ passa por hidrólise, um teste de pH, realizado algum tempo após o preparo das soluções, indica que a solução tem caráter ácido, neutro ou básico? Justifique apresentando a equação química global do processo.

5. O nível de acidez do meio é considerado um fator limitante para a vida de certas espécies aquáticas, pois, além de interferir em processos metabólicos, pode levar à dissolução de metais tóxicos presentes, por exemplo, no solo em contato com o corpo de água.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A Resolução nº 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) estipula que a faixa de pH de corpos de água destinados à preservação da vida aquática (artigo 14º) deve ser de 6,0 a 9,0. No entanto, ocorrem variações nas tolerâncias de pH de espécie para espécie. Por exemplo, a molinésia preta (*Poecilia sphenops*) desenvolve-se melhor em ambientes com pH entre 7,2 e 7,5.

A análise em triplicata do pH de dois corpos-d'água, A e B, é apresentada na tabela a seguir.

Corpo-d'água	Amostra	pH
A	I	6,1
	II	6,1
	III	6,0
B	I	7,1
	II	7,4
	III	7,2

Com base no valor médio de pH dos dois corpos de água, responda:

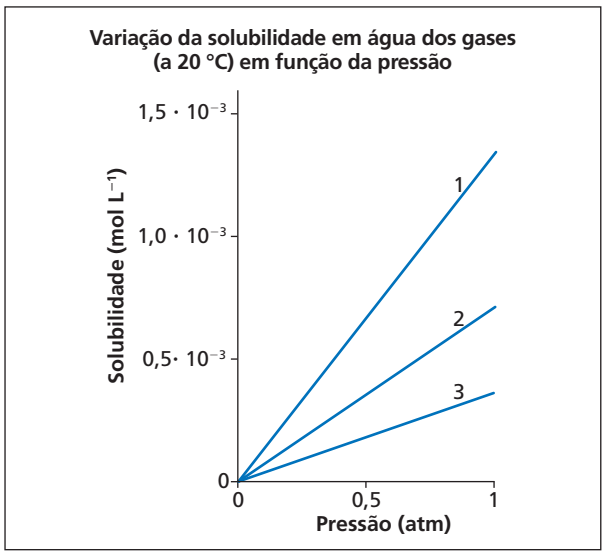
a. o que é possível concluir a respeito do desenvolvimento da molinésia preta nesses ambientes?

b. em quantas vezes, aproximadamente, a concentração em quantidade de substância de íons H^+ em B é maior do que em A?

6. A OMS considera que a água potável deve ter limite máximo de 10^{-8} g L^{-1} de chumbo. Suponha que um pesquisador precise analisar a concentração de chumbo em um reservatório, mas o equipamento disponível quantifica apenas concentrações superiores a $1 \cdot 10^{-7}$ mol L^{-1} de chumbo. Esse equipamento é adequado para determinar se a água do reservatório é potável? Explique seu raciocínio.

Dado: $M(Pb) = 207{,}2$ g mol^{-1}.

7. Analise, a seguir, o gráfico e a tabela relativos aos gases oxigênio, nitrogênio e hélio.



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação gráfica da solubilidade dos gases em função da pressão.

Constante de Henry para alguns gases em água a 20 °C

Gás	k_H (mol L^{-1} atm^{-1})
Hélio	$3{,}7 \cdot 10^{-4}$
Nitrogênio	$7{,}0 \cdot 10^{-4}$
Oxigênio	$1{,}3 \cdot 10^{-3}$

Fonte: ATKINS, P. W.; JONES, L.; LAVERMAN, L. **Princípios de Química**: questionando a vida moderna e o meio ambiente. 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2018.

Comparação da constante de Henry para alguns gases.

a. Indique quais gases correspondem às curvas 1, 2 e 3 indicadas no gráfico.

b. Suponha que a solubilidade de uma substância gasosa em água tenha sido avaliada a 20 °C em três condições de pressão diferentes: 0,1 atm, 0,5 atm e 1 atm. Em qual dessas condições de pressão o gás se apresenta mais dissolvido em água?

c. Considerando a pressão atmosférica igual a 1 atm e que o ar atmosférico contenha 20% de gás oxigênio e 80% de gás nitrogênio, compare a solubilidade desses dois gases a 20 °C.

d. Você concorda com a afirmação de que, quanto maior a constante de Henry, maior a solubilidade de um gás?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Capítulo 10

Água potável: métodos de obtenção

COMPANHIA ESTADUAL DE ÁGUAS E ESGOTOS DO RIO DE JANEIRO

Estação de Tratamento de Água de Guandu, localizada no estado do Rio de Janeiro, 2020.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Estima-se que aproximadamente 97,5% da água do planeta Terra seja salgada, portanto, imprópria para o consumo humano. Dos 2,5% restantes de água doce, cerca de 69% estão na forma sólida em geleiras, 30% constituem água subterrânea armazenada em aquíferos e apenas 1% está presente em rios e lagos. É justamente esse 1% de água doce que é utilizado no abastecimento de água para a população. Tais dados ressaltam a importância de a sociedade se conscientizar a respeito da necessidade de preservação desse recurso essencial, mas escasso.

No cenário brasileiro, existem aproximadamente 3.700 estações de tratamento de água (ETAs) desempenhando importante papel no tratamento e fornecimento de água à população. Destacando-se entre elas, a ETA Guandu atende aos municípios de Nilópolis, Nova Iguaçu, Duque de Caxias, Belford Roxo, São João de Meriti, Itaguaí, Queimados e Rio de Janeiro, todos no estado do Rio de Janeiro. Ela é reconhecida como a maior ETA em produção contínua no mundo, com uma vazão de 43 mil litros por segundo.

Neste capítulo, vamos explorar as diversas etapas empregadas nas ETAs, bem como os métodos para obtenção de água potável a partir da água do mar.

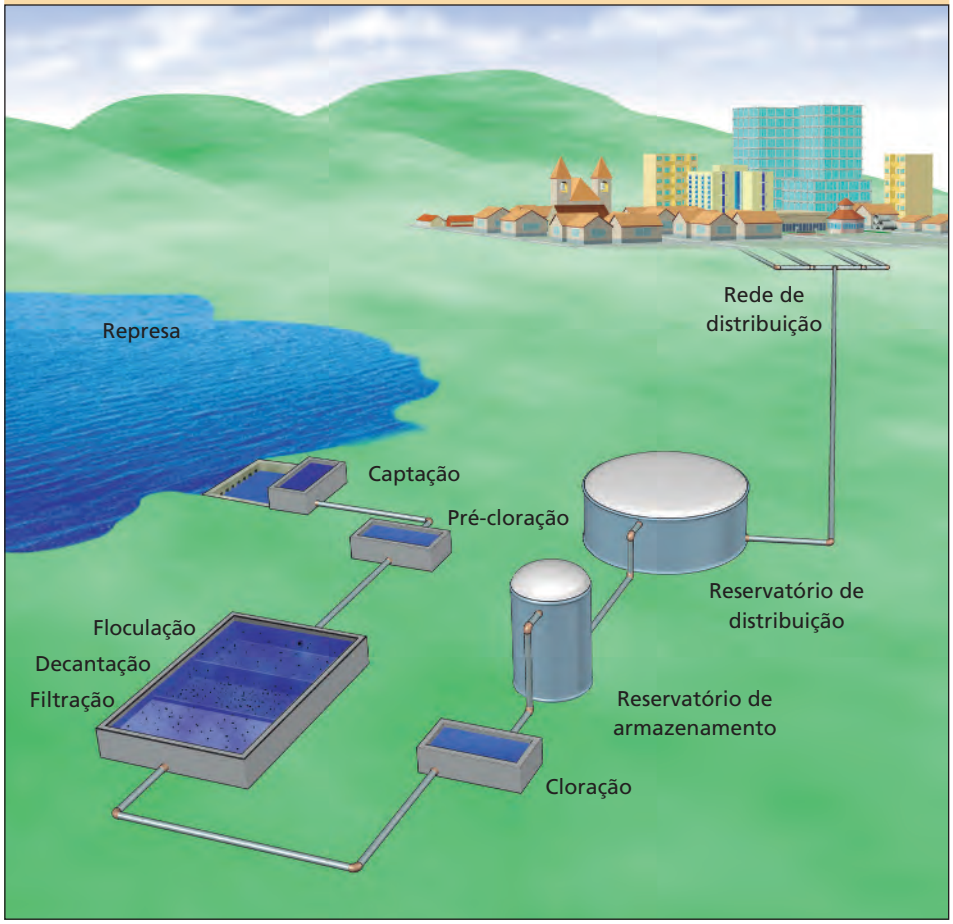
Estação de tratamento de água

A água é uma substância essencial para a manutenção da vida e, quando extraída diretamente da natureza, apresenta diversos outros componentes misturados a ela. Para a água ser adequada ao consumo humano, devem ser aplicados métodos físicos e químicos apropriados que removam impurezas e organismos potencialmente patogênicos.

Existem diversas formas de tornar a água potável, desde métodos caseiros – adequados para produção em pequena escala e com baixo custo – até ETAs – apropriadas para a obtenção de água potável em larga escala com capacidade de suprir a demanda de municípios com milhares de habitantes.

As principais etapas do tratamento de água podem variar dependendo do local de captação e da demanda hídrica da região atendida pela ETA. De modo geral, o processo da captação até a distribuição da água para estabelecimentos residenciais, industriais e comerciais pode ser esquematicamente representado conforme a figura a seguir.

Estação de tratamento de água



MARCOS AURÉLIO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO (SABESP). Tratamento de água. Disponível em: https://www.sabesp.com.br/o-que-fazemos/fornecimento-agua/tratamento-agua. Acesso em: 11 out. 2024.

Esquema das etapas de tratamento e distribuição da água potável. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Durante a etapa de **captação de água**, grades impedem que resíduos como folhas, galhos e gravetos sejam introduzidos na estação de tratamento, evitando a obstrução do processo. A etapa de **pré-cloração** consiste na adição de gás cloro ($C\ell_2$) ou solução de ácido hipocloroso ($HC\ell O$), pois essas substâncias tendem a reagir com íons que podem conferir à água cor, odor e sabor. Além disso, as espécies químicas de cloro reduzem a proliferação e a presença de agentes biológicos – vírus, bactérias, algas etc. – na água, por reagirem com compostos que formam a membrana celular ou que estão presentes no interior das células ou, no caso dos vírus, no interior do capsídeo e envelopes virais.

A água captada, muitas vezes, apresenta aspecto barrento e pode conter partículas de tamanhos variados, desde íons monoatômicos – formados por apenas um átomo – até partículas maiores, com tamanho comparável ao de um grão de poeira ou de uma bactéria, como a *Escherichia coli*. Essas misturas são denominadas genericamente **dispersões** e, por sua vez, são subdivididas em três tipos: **solução** (partículas menores que 1 nm); **dispersão coloidal** (partículas entre 1 nm e 1.000 nm); e **suspensão** (partículas maiores que 1.000 nm). Considerando que bactérias da espécie *E. coli*, dispersas em água, têm comprimento médio de 3,0 µm, pode-se caracterizar esse tipo de mistura como uma suspensão.

Além dos microrganismos, é possível encontrar, dispersos na água, materiais de origem inorgânica, como os argilominerais, oriundos do solo, que devem ser removidos da água durante o tratamento. Para isso, adicionam-se alguns agentes coagulantes, como sulfato de alumínio, $A\ell_2(SO_4)_3$, e cloreto de ferro(III) ($FeC\ell_3$). Alguns fatores, como fonte de captação, temperatura, turbulência no corpo de água e erosão, alteram a composição da água nos ambientes naturais e, por isso, podem reduzir a eficiência da **coagulação**. Para minimizar a influência dessas variáveis, adiciona-se hidróxido de cálcio, $Ca(OH)_2$, também chamado cal hidratada, a fim de ajustar o pH do meio para valores entre 5 e 9 e, assim, contribuir para a formação dos coágulos. Os processos descritos a partir da adição de

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

$A\ell_2(SO_4)_3$ e $Ca(OH)_2$ podem ser representados pela seguinte equação química.

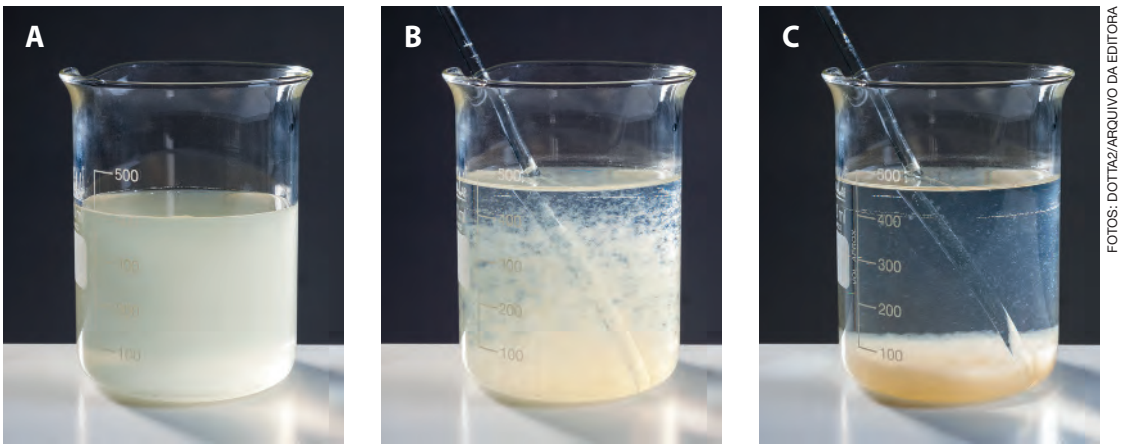
$$3\ Ca(OH)_2(aq) + A\ell_2(SO_4)_3(aq) \rightarrow$$
$$\rightarrow 3\ CaSO_4(s) + 2\ A\ell(OH)_3(s)$$

Nessa etapa, a agitação vigorosa é fundamental para aumentar a interação entre as partículas dispersas, possibilitando a formação de coágulos. O hidróxido de alumínio, $A\ell(OH)_3$, é um composto pouco solúvel em água e de aspecto gelatinoso, fundamental para a aglutinação das partículas em suspensão. O emprego de outros coagulantes contendo íons Fe^{3+} contribui para a redução da repulsão das cargas negativas dos argilominerais e maior eficiência na coagulação. Outro produto formado na etapa de coagulação é o sulfato de cálcio ($CaSO_4$), um composto pouco solúvel em água. A formação desse sólido é oportuna para a remoção dos íons Ca^{2+} e SO_4^{2-}, pois a presença desses íons na rede de distribuição pode levar ao entupimento da tubulação. Além disso, a ingestão excessiva de cálcio pelo ser humano pode acarretar a formação de cálculos renais.

Em seguida, é feita a **floculação**, na qual a água é agitada de forma branda para que os coágulos aumentem lentamente de tamanho e possam ser removidos mais facilmente.

Após a etapa de floculação, a mistura passa pelo processo de **decantação**, permanecendo em repouso nos tanques para que, por ação da gravidade, os coágulos formados (que apresentam densidade geralmente superior à dos outros materiais dispersos na água) sejam depositados e concentrados no fundo do recipiente em que está a mistura. O processo de decantação geralmente é bastante demorado, e o tempo de sedimentação varia muito, dependendo da densidade das partículas sólidas que estão dispersas no líquido em uma mistura heterogênea.

As fotografias a seguir mostram os processos de coagulação, floculação e decantação realizados em pequena escala.

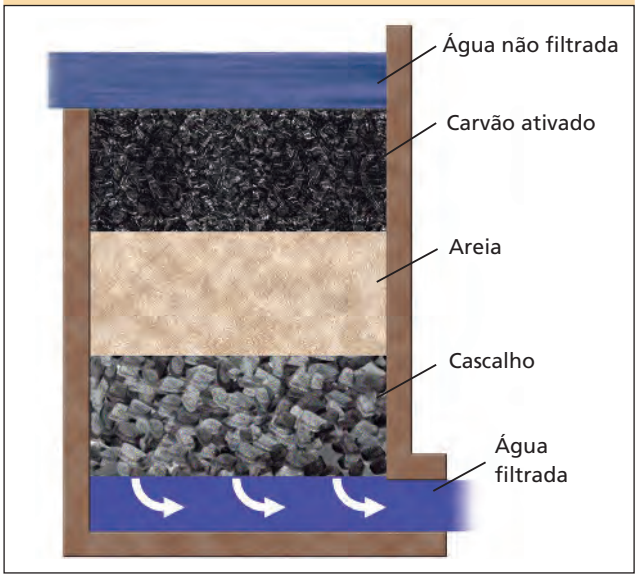


FOTOS: DOTTA2/ARQUIVO DA EDITORA

(A) Um coagulante é adicionado a uma amostra de água de fonte natural. **(B)** Após algum tempo, ocorre a formação de coágulos contendo algumas das impurezas presentes. O agrupamento desses coágulos dá origem à formação de flocos. **(C)** Esses flocos se depositam no fundo do recipiente por ação da gravidade.

Ao final do processo de decantação, a água em tratamento ainda pode conter sólidos dispersos que não se depositaram no fundo dos tanques por serem pequenos demais ou por não ter havido tempo suficiente para a deposição. Por isso, essa água ainda pode seguir para uma etapa posterior de **filtração**, técnica de separação que retém partículas maiores que a malha de retenção (filtro) utilizada. Ao passar por filtros compostos de várias camadas de carvão ativado, areia e cascalho, as partículas que não foram removidas na decantação ficam retidas. O carvão ativado é um material poroso com grande capacidade de reter impurezas sólidas, líquidas e gasosas. Algumas dessas substâncias são responsáveis por atribuir odor e sabor indesejados à água.

Etapa de filtração da água em ETA



MARCOS AURÉLIO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática da filtração realizada na ETA. O líquido ou filtrado passa através dos fragmentos de carvão ativado, areia e cascalho, enquanto o sólido ou resíduo fica retido. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Após a etapa de filtração, a água deve passar pela **cloração**, que consiste na desinfecção da água com compostos de cloro. Esse processo contribui para a eliminação de microrganismos, além de manter a rede de distribuição protegida de contaminação. Outro composto adicionado é o hexafluorosilicato de sódio (Na_2SiF_6), com o objetivo de reduzir a incidência de cáries dentárias na população.

A cloração é um método de desinfecção bastante difundido no mundo. No entanto, os efeitos causados pela exposição prolongada aos subprodutos gerados nessa etapa ainda não são conhecidos. Os subprodutos podem variar de acordo com a matéria orgânica presente na água, mas compostos como os trialometanos (THM) e os ácidos haloacéticos (HAA) são frequentes. Algumas alternativas à desinfecção com gás cloro são o ozônio (O_3), o dióxido de cloro ($C\ell O_2$), o permanganato de potássio ($KMnO_4$) e a radiação ultravioleta, cuja aplicação ainda demanda alguns aperfeiçoamentos.

Em algumas regiões, a água captada é de origem subterrânea. Geralmente, nesse caso, não é necessário realizar as etapas iniciais do tratamento convencional, pois a água é naturalmente filtrada à medida que **percola** os solos e as fendas nas rochas. Dessa forma, para torná-la potável, basta realizar a cloração e a fluoretação.

Percola: Verbo *percolar*. Ato de um líquido passar por um filtro para purificação ou retirada de componentes misturados a ele.

Ao longo das etapas na ETA há geração de resíduos, sobretudo na decantação e na retrolavagem dos filtros (passagem de água no sentido contrário ao da filtração). Esses processos geram uma mistura de água e lodo e, para que o lodo seja descartado em aterros sanitários ou utilizado como adubo, a água precisa ser parcialmente removida. Para remover o excesso de água, aplica-se outra técnica de separação de misturas, a **centrifugação**, que consiste em acelerar o processo de decantação e ao mesmo tempo compactar resíduos sólidos. A mistura heterogênea é introduzida em um equipamento chamado centrífuga, que gira em alta velocidade e força a sedimentação do componente mais denso da mistura pela ação da força centrífuga.

Algumas ETAs, bem como algumas estações de tratamento de efluentes (ETEs), incluem a etapa de **aeração** dependendo das características da água a ser tratada. Nesse processo, a água entra em contato com o ar atmosférico a fim de aumentar o teor de gás oxigênio dissolvido. Além disso, nessa etapa é possível remover por precipitação íons indesejáveis, como ferro e manganês.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Fique por dentro

Tratamento de água

ANIMAÇÃO sobre tratamento de água. [*S. l.*], 2021. 1 vídeo (1 min 42 s). Publicado por Sabesp. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=hRZcupJbnpg. Acesso em: 27 jun. 2024.

Esse vídeo apresenta as etapas do tratamento de água passo a passo, desde a captação na represa até a distribuição à população.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

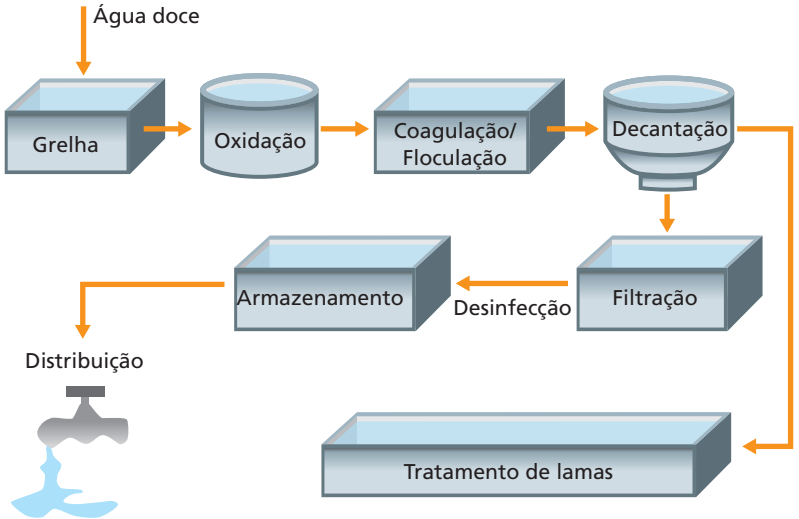
Registre em seu caderno

1. Usando apenas água, copos plásticos, uma colher e filtro de papel, proponha uma técnica para extrair o sal de uma pequena amostra de areia da praia. Represente também o processo escolhido por meio de um fluxograma.
2. Quando se prepara café, adiciona-se água quente sobre o pó, previamente colocado em um coador de pano ou de papel. A água dissolve alguns dos componentes do pó de café e o líquido resultante atravessa o coador. Processo semelhante ocorre quando se prepara chá. Esse processo de dissolução seletiva de componentes (dissolução fracionada) pode ser empregado em muitas outras separações, principalmente para a extração de aromas e corantes vegetais. O pau-brasil, por exemplo, era valorizado até o desenvolvimento dos corantes artificiais, no século XIX, porque dele se extraía um corante vermelho muito apreciado na Europa.
   a. O café que tomamos deve ser classificado como um sistema heterogêneo ou homogêneo? A bebida café é uma solução?
   b. Considerando que a solubilidade de alguns componentes do café seja diretamente proporcional à temperatura, o que deverá ocorrer se prepararem a bebida com água gelada?

Continua

Continuação

3. (Enem) A figura representa a sequência de etapas em uma estação de tratamento de água.



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Disponível em: https://www.sabesp.com.br/o-que-fazemos/fornecimento-agua/tratamento-agua. Acesso em: 30 jul. 2012.

Qual etapa desse processo tem a densidade das partículas como fator determinante?

a. Oxidação.
b. Floculação.
c. Decantação.
d. Filtração.
e. Armazenamento.

3. Alternativa **c**.

Registre em seu caderno

TRABALHO E JUVENTUDES

ODS 6

OBJETO DIGITAL
Mapa clicável: Acesso à água potável no Brasil

Acesso à água tratada e impactos na vida dos jovens

O acesso ao saneamento básico pode ser considerado um indicativo do nível de desenvolvimento de um país. Além de ser essencial para a saúde da população, um sistema de saneamento básico adequado possibilita a melhoria da qualidade de vida em outras áreas, como a econômica: países com bons índices de saneamento básico contam com ambientes que favorecem a valorização dos imóveis, a expansão do turismo e o aumento de renda dos trabalhadores. Por outro lado, a falta de saneamento básico pode afetar negativamente o desenvolvimento do país, principalmente no que se refere à educação e, por consequência, à vida dos jovens.

No Brasil, ainda enfrentamos desafios em relação à universalização do acesso ao saneamento básico, conforme demonstram os dados reunidos pelo Painel de Saneamento organizado pelo Instituto Trata Brasil:

Mais de 90 milhões de brasileiros (44,5%) não tiveram acesso à coleta de esgoto em 2022.

88,2% dos brasileiros tiveram acesso à água tratada em 2022.

O Brasil teve quase 130 mil internações em 2021 por doenças de veiculação hídrica.

O Brasil investiu mais de 17,3 bilhões em saneamento básico em 2022.

CRIS ALENCAR/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em TRATA Brasil. Painel Saneamento Brasil. Disponível em: https://tratabrasil.org.br/. Acesso em: 28 jun. 2024.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Continua

Continuação

Em geral, pessoas que não têm acesso a coleta de esgoto e a água tratada se encontram em situação de vulnerabilidade econômica e/ou social. É o caso de estudantes de escolas públicas (principalmente crianças e jovens), comunidades indígenas e pessoas negras.

> Segundo um estudo do Instituto Trata Brasil, brasileiros que ganham, em média, até 1,9 mil reais por mês têm menos acesso a saneamento básico. Mas esse cenário é ainda pior quando pensamos nos negros e jovens. De acordo com o estudo, cerca de 32% da população negra não possui acesso ao abastecimento de água e 37% vivem em regiões sem rede de esgoto. A maioria são pessoas com menos de 19 anos, que não completaram o ensino fundamental.
>
> **Fonte:** HABITAT PARA A HUMANIDADE – BRASIL. Pobres, negros e jovens não têm acesso a saneamento básico. Disponível em: https://habitatbrasil.org.br/pobres-negros-jovens-nao-tem-saneamento-basico/. Acesso em: 28 jun. 2024.

Para que esse cenário mude, é necessário que os investimentos e as ações governamentais passem a priorizar a universalização do acesso ao saneamento básico. Além disso, a inovação nos métodos de tratamento de água e esgoto também pode contribuir para que os processos sejam otimizados e passem a atender regiões com carência de abastecimento.

Um exemplo de inovação nesse sentido foi desenvolvido pela empreendedora ambiental brasileira Anna Luísa Beserra (1997-), que, aos 15 anos de idade, participou do prêmio Jovem Cientista do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) com um projeto que propunha que a água da chuva coletada por uma cisterna fosse esterilizada pela luz solar por meio de um sistema que utiliza a radiação ultravioleta. Atualmente formada em Biotecnologia e líder da empresa de impacto socioambiental SDW, Anna Luísa já recebeu diversos prêmios pelo seu trabalho, incluindo o prêmio Jovens Campeões da Terra de 2019, da Organização das Nações Unidas (ONU), e já beneficiou mais de 25 mil brasileiros com o dispositivo que desenvolveu.

Para saber mais sobre o projeto, acesse o *site* de Beserra. Disponível em: https://annaluisabeserra.com. Acesso em: 28 jun. 2024.

Apesar de iniciativas como essa não serem soluções permanentes ou que consigam resolver todas as carências em saneamento básico no país, elas mostram como jovens, partindo de conhecimentos apreendidos durante o Ensino Médio, podem transformar a realidade e contribuir para a qualidade de vida de milhares de pessoas.

ACERVO SDW FOR ALL

Anna Luísa coletando água do dispositivo de tratamento de água da chuva em Morro do Chapéu (BA), 2019.

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. Com base nos dados apresentados no texto e na sua opinião, responda: Como a falta de acesso à água tratada pode prejudicar a vida de jovens, em especial no que diz respeito à sua inserção no mundo do trabalho?
2. Iniciativas como a de Anna Luísa demonstram como jovens pesquisadores e empreendedores podem contribuir positivamente para que a realidade do país seja modificada. Pesquise outros jovens que tenham desenvolvido projetos de relevância socioambiental ou programas de incentivo à pesquisa durante o Ensino Médio e apresente aos colegas. Ao final, debatam:
   a. Como participar de projetos ou programas como os pesquisados pode contribuir para a formação de jovens estudantes do Ensino Médio?
   b. Iniciativas individuais como essas são suficientes para resolver o problema de acesso à água tratada?
   c. Existem outras estratégias que podem ser adotadas por pessoas de regiões com problemas no abastecimento de água tratada? Se sim, quais?
3. Como é o acesso à água tratada na região em que você mora? E na região em que estuda? Caso esse acesso seja deficiente, investigue se a comunidade tem promovido ações com órgãos públicos responsáveis para que essa realidade seja modificada.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

OBJETO DIGITAL
Carrossel de imagens: É possível tornar a água do mar própria para consumo?

Dessalinização

Apesar da grande disponibilidade, a água dos mares e oceanos é imprópria para o consumo humano, pois sua ingestão causa desidratação em razão da transferência de água do interior das células do organismo para fora delas, a fim de eliminar o excesso de sais ingeridos. Considera-se a **água salgada** quando apresenta mais de 3,0% em massa de sais, em que os principais constituintes são os íons sódio (Na^+) e cloreto ($C\ell^-$), além de outros, como cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), carbonato (CO_3^{2-}), fosfato (PO_4^{3-}), nitrato (NO_3^-) e sulfato (SO_4^{2-}).

De que forma você imagina ser possível remover os sais da água do mar? Pode-se fazê-lo por meio de uma ETA convencional, como a que estudamos anteriormente? O estudo a seguir vai ajudá-lo a obter essas respostas.

Influência da concentração do soluto nas propriedades físicas das soluções

Líquidos e sólidos puros apresentam propriedades específicas que os caracterizam. Alguns exemplos dessas propriedades são densidade, condutividade, temperaturas de fusão e de ebulição etc. No entanto, ao serem misturados a outras substâncias, o material resultante apresenta propriedades diferentes. Para exemplificar, analise os dados de temperatura de fusão e de ebulição para algumas soluções aquosas e para a água destilada, apresentados na tabela a seguir.

Temperaturas de fusão (TF) e de ebulição (TE) para a água destilada e algumas soluções aquosas a 1 atm

Sistema	TF (°C)	TE (°C)
Água destilada	0	100,0
$NaC\ell(aq)$ 0,1 mol L^{-1}	–0,372	100,103
$NaC\ell(aq)$ 0,2 mol L^{-1}	–0,744	100,206
$Ca(NO_3)_2(aq)$ 0,1 mol L^{-1}	–0,558	100,154
Glicose ($C_6H_{12}O_6$)(aq) 0,1 mol L^{-1}	–0,186	100,051
Glicose ($C_6H_{12}O_6$)(aq) 0,2 mol L^{-1}	–0,372	100,103

Fonte: elaborado com base em HAYNES, W. M. (ed.). **CRC Handbook of Chemistry and Physics**. 97th ed. Boca Raton, FL: CRC Press; Taylor and Francis, 2017.

Comparação das temperaturas de fusão e ebulição da água destilada e de algumas soluções aquosas.

Nota-se que as variações nas temperaturas de mudança de fase dependem da concentração de partículas dissolvidas, e não da identidade química dessas partículas. Propriedades que exibem esse comportamento são denominadas **propriedades coligativas** (do latim, *colligere* = ajuntamento).

Os dados da tabela demonstram duas alterações de propriedades físicas observadas em soluções aquosas: o **efeito crioscópico** e o **efeito ebulioscópico**. Ou seja, em uma solução aquosa formada por compostos solúveis em água e não voláteis, verifica-se a redução da temperatura de congelamento (TF < 0 °C) e o aumento da temperatura de ebulição (TE > 100 °C) em relação ao solvente puro. No cotidiano, é possível verificar essas alterações quando adicionamos sal de cozinha à água durante a fervura, cessando-a momentaneamente. Outro exemplo é a adição de etilenoglicol à água de arrefecimento do motor de automóveis, para evitar que a água se solidifique em locais em que a temperatura atinge valores inferiores a 0 °C e provoque problemas no funcionamento do motor.

A seguir, estudaremos duas propriedades coligativas estreitamente relacionadas aos processos de dessalinização da água.

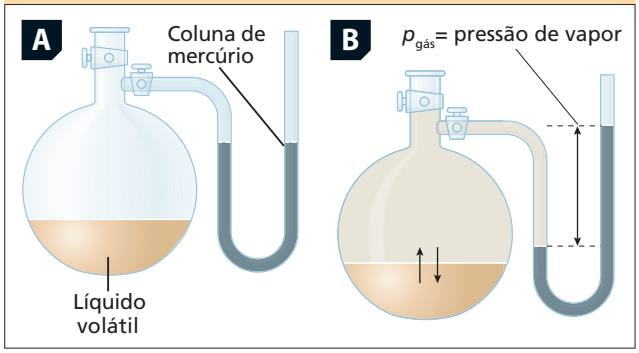
Pressão de vapor e efeito tonoscópico

Se deixamos um recipiente contendo água aberto, sob pressão atmosférica ambiente, após certo tempo verificamos que todo o líquido evapora. No entanto, se esse recipiente estiver fechado, chega um momento em que a evaporação e a condensação ocorrem na mesma rapidez e as fases líquida e gasosa passam a coexistir em equilíbrio dinâmico. Embora não se observe nenhuma mudança macroscópica no sistema, as moléculas de água se movem de maneira constante da fase líquida para a fase gasosa, e vice-versa. O vapor-d'água presente exerce uma pressão, chamada **pressão de vapor**, sobre a superfície do líquido. É possível observar esse fenômeno utilizando dispositivos como o representado na figura.

Outras propriedades coligativas são detalhadas no capítulo 23.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Aparato experimental para o estudo da pressão de vapor de um líquido volátil



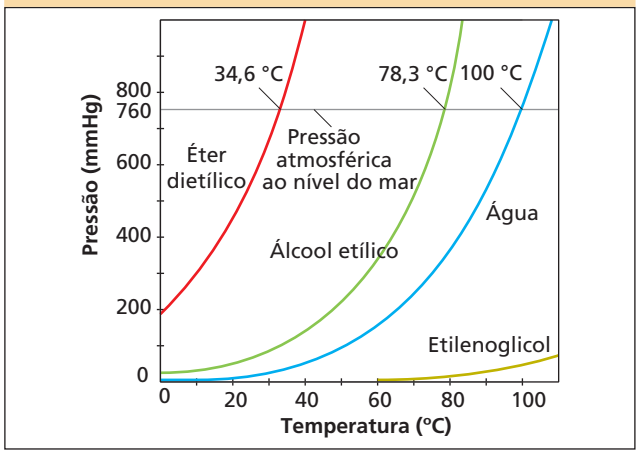
ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em BROWN, T. L. *et al.* **Chemistry**: The Central Science. 14th ed. New York: Pearson, 2018.

Representação esquemática de uma aparelhagem usada para observar o fenômeno da pressão de vapor de um líquido volátil. **(A)** Não existem moléculas na fase gasosa dentro do recipiente; a pressão exercida pelo vapor, nessa situação, é igual a zero. **(B)** A taxa em que as moléculas deixam a superfície do líquido e se misturam à fase gasosa acima dele é igual à taxa na qual as moléculas presentes na fase gasosa passam para a fase líquida. Nessa nova situação, a quantidade de vapor se mantém constante e ele exerce pressão sobre as superfícies (inclusive da coluna de mercúrio, deslocando-a), a chamada pressão de vapor. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Substâncias que apresentam alta pressão de vapor, como o álcool etílico, evaporam rapidamente e, por isso, são chamadas **substâncias voláteis**. Entretanto, essa classificação é relativa (geralmente é uma comparação com a água). Dessa forma, não há um valor definido de pressão de vapor a partir do qual as substâncias possam ser seguramente classificadas como voláteis. O gráfico a seguir mostra o comportamento da pressão de vapor de algumas substâncias em função da temperatura.

Variação da pressão de vapor de quatro substâncias em função da temperatura



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: BROWN, T. L. *et al.* **Chemistry**: The Central Science. 14th ed. New York: Pearson, 2018.

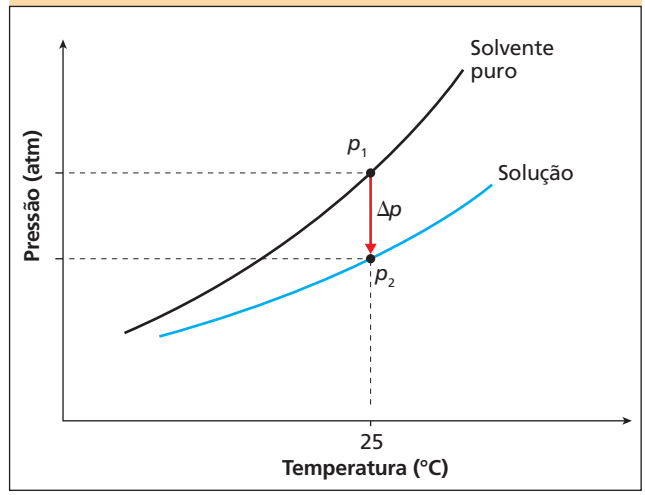
Representação gráfica da variação da pressão de vapor em função da temperatura.

Observe no gráfico que a pressão de vapor aumenta de acordo com a elevação da temperatura. Isso ocorre porque as partículas que formam as substâncias passam a se movimentar mais (com maior energia cinética), aumentando a probabilidade de transferência para a fase gasosa.

Quando a pressão de vapor de um líquido se iguala à pressão atmosférica, a dada temperatura, esse líquido inicia a ebulição. Esse modelo ajuda a explicar por que a temperatura de ebulição varia de acordo com a pressão. Por exemplo, ao nível do mar (760 mmHg), a água entra em ebulição quando sua temperatura atinge 100 °C, como mostra o gráfico anterior. Em grandes altitudes, a pressão atmosférica é menor e, portanto, a água inicia a ebulição a uma temperatura mais baixa.

Sabendo que a adição de um soluto não volátil altera as propriedades físicas do solvente, que tipos de interferência podem ser verificados na pressão de vapor da solução? Experimentalmente, ao comparar as pressões de vapor de vários solventes com as de suas soluções, é possível concluir que a adição de um soluto não volátil a um solvente sempre diminui sua pressão de vapor. Por exemplo, à temperatura de 25 °C e pressão de 1 atm, um solvente puro apresenta pressão de vapor p_1. A adição de um soluto não volátil reduz a pressão de vapor desse solvente para um valor p_2. Assim, a variação na pressão de vapor do solvente é determinada pela diferença entre as duas pressões na temperatura dada ($\Delta p = p_2 - p_1$). Isso ocorre porque as interações entre o soluto e o solvente dificultam a passagem das moléculas do solvente da fase líquida para a fase gasosa. Esse comportamento é chamado **efeito tonoscópico**. O gráfico a seguir ilustra esse efeito.

Variação da pressão de vapor de um solvente puro e de uma solução em função de temperatura



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: BROWN, T. L. *et al.* **Chemistry**: The Central Science. 14th ed. New York: Pearson, 2018.

Representação gráfica do efeito tonoscópico.

Relacione o conceito de pressão de vapor com a intensidade dessas interações estabelecidas entre as substâncias, auxiliando na compreensão do conceito de volatilidade.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A relação entre a quantidade de partículas em uma solução e a redução da pressão de vapor é expressa pela **lei de Raoult**, segundo a qual a pressão de vapor do solvente, p(solvente), é diretamente proporcional ao produto da fração em quantidade de substância do solvente, x(solvente), pela pressão de vapor do solvente puro, p^o(solvente):

$$p(\text{solvente}) = x(\text{solvente})\, p^o(\text{solvente})$$

Em soluções reais, as interações entre as partículas da solução (soluto e solvente) podem alterar o efeito esperado na pressão de vapor. Por isso, a lei de Raoult descreve o comportamento de **soluções ideais**, em que a concentração do soluto seja baixa o suficiente para reduzir a interação soluto-soluto e que soluto e solvente sejam semelhantes em tamanho e simetria.

Outro fator a ser considerado é que a dissolução de uma substância pode contribuir diferentemente para o número total de partículas solubilizadas. Esse fenômeno foi descrito pelo físico-químico holandês Jacobus Henricus van't Hoff (1852-1911) em meados de 1890, quando percebeu que o efeito dos compostos iônicos nas propriedades coligativas de uma solução era maior que o de substâncias moleculares de mesma concentração.

Uma forma de representar os diferentes comportamentos das substâncias dissolvidas é o **fator de van't Hoff** (***i***). Ele é determinado experimentalmente e corresponde a um fator matemático de correção entre a quantidade de partículas de soluto em solução e a quantidade do composto dissolvido. Indiretamente, esse fator considera que algumas substâncias formam íons em solução em diferentes extensões por ionização ou por dissociação e, por isso, o número de partículas é maior do que o esperado pela simples dissolução.

Por exemplo, como glicose ($C_6H_{12}O_6$) e sacarose ($C_{12}H_{22}O_{11}$) são substâncias moleculares que não ionizam em água, elas apresentam $i = 1$, diferentemente do cloreto de potássio (KCℓ), substância iônica com dissociação completa em água que, em solução pouco concentrada, apresenta $i = 2$.

Uma vez que o efeito tonoscópico é uma propriedade coligativa, ao se compararem soluções de concentração 10^{-4} mol L^{-1}, as soluções de glicose e sacarose terão a mesma pressão de vapor, pois apresentam o mesmo número de partículas de soluto dissolvidas (10^{-4} mol L^{-1}); enquanto a solução de cloreto de potássio, por apresentar o dobro de partículas dissolvidas (10^{-4} mol L^{-1} de íons K^+ e 10^{-4} mol L^{-1} de íons Cℓ^-), causará uma redução duas vezes maior que os solutos moleculares.

Quando o soluto apresenta grau de ionização entre 0% e 100%, o fator de van't Hoff pode ser estimado pela seguinte expressão:

$$i = 1 + \alpha(n - 1)$$

em que

i = fator de van't Hoff;

α = grau de ionização;

n = número de espécies formadas em solução.

Por exemplo, para uma solução aquosa de ácido acético (CH_3COOH), a 25 °C e concentração de 0,6 g L^{-1}, cerca de 4% das moléculas de ácido acético encontram-se ionizadas:

$$CH_3COOH(\ell) \xrightarrow{H_2O} CH_3COO^-(aq) + H^+(aq)$$

O fator de correção de van't Hoff é, portanto:

$$i = 1 + \frac{4}{100}(2 - 1) = 1{,}04$$

Note que o fator de van't Hoff considera as partículas dissolvidas, excluindo as substâncias não solubilizadas, os sais insolúveis depositados como corpo de fundo nas soluções.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADE COMENTADA

Um químico preparou quatro soluções de concentração 1 mol L^{-1} de quatro sais diferentes:

I. $MgSO_4$(aq) **III. $A\ell_2(SO_4)_3$(aq)**

II. K_2SO_4(aq) **IV. $ZnSO_4$(aq)**

Considerando todas as soluções sob mesma temperatura e que os sais são totalmente solúveis em água, determine qual delas apresentará menor pressão de vapor a partir do cálculo da concentração de íons em solução.

Analisar o enunciado

O problema envolve a determinação da solução que apresentará a menor pressão de vapor entre quatro soluções de diferentes sais – $MgSO_4$, K_2SO_4, $A\ell_2(SO_4)_3$, $ZnSO_4$ –, mas de mesma concentração e em uma mesma temperatura. Portanto, devemos calcular a concentração de íons em cada solução e compará-las para determinar qual delas terá a menor pressão de vapor.

Selecionar as informações relevantes

Temos quatro soluções, cada uma com concentração de 1 mol L^{-1}, com solutos que são os sais mencionados. Sabemos que todos os sais são totalmente solúveis em água.

Os fatores de van't Hoff para os sais dissolvidos são:

- $MgSO_4$ se dissocia em 1 Mg^{2+} e 1 SO_4^{2-}, logo, $i = 2$.
- K_2SO_4 se dissocia em 2 K^+ e 1 SO_4^{2-}, logo, $i = 3$.
- $A\ell_2(SO_4)_3$ se dissocia em 2 $A\ell^{3+}$ e 3 SO_4^{2-}, logo, $i = 5$.
- $ZnSO_4$ se dissocia em 1 Zn^{2+} e 1 SO_4^{2-}, logo, $i = 2$.

Continua

Continuação

Aplicar o conceito estudado

Para cada solução, devemos calcular a concentração total de íons, [íons], considerando o fator de van't Hoff, *i*, para cada um como fator multiplicador da concentração do sal, [sal].

$$[\text{íons}] = [\text{sal}] \cdot i$$

Como a concentração de todas as soluções é igual a 1 mol L^{-1}, temos:

$$[\text{íons}] = 1 \text{ mol } L^{-1} \cdot i$$

$$[\text{íons}] = i \text{ mol } L^{-1}$$

Portanto:

I. $MgSO_4(aq)$: [íons] = 2 mol L^{-1}

II. $K_2SO_4(aq)$: [íons] = 3 mol L^{-1}

III. $A\ell_2(SO_4)_3(aq)$: [íons] = 5 mol L^{-1}

IV. $ZnSO_4(aq)$: [íons] = 2 mol L^{-1}

Com base nos valores encontrados, podemos concluir que a solução que apresentará a menor pressão de vapor é a solução III: $A\ell_2(SO_4)_3$.

Verificar a solução

A pressão de vapor diminui conforme aumenta a concentração de partículas (íons ou moléculas) em solução. Portanto, a solução que apresentará a menor pressão de vapor é a solução III – $A\ell_2(SO_4)_3$ –, que tem a maior concentração total de íons (5 mol L^{-1}) entre as quatro soluções.

Osmose e osmose reversa

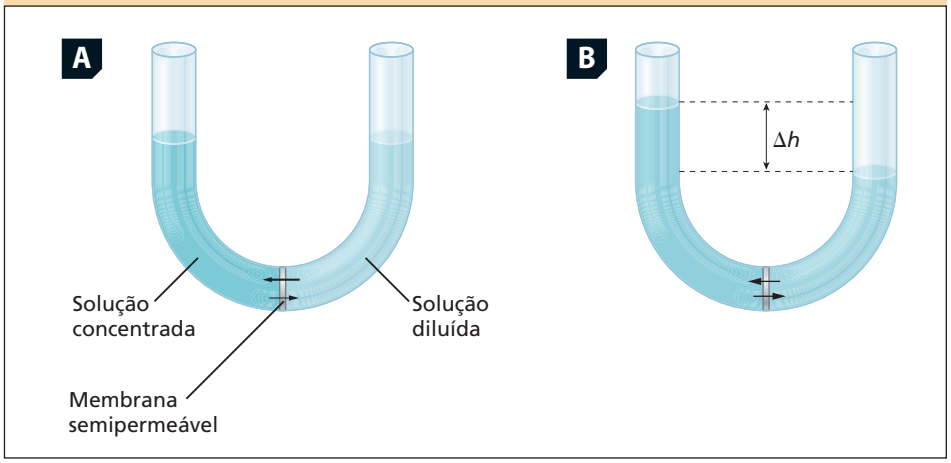
A diarreia pode ser considerada uma tentativa do organismo de eliminar microrganismos patogênicos. Entretanto, ela também leva à perda de água e nutrientes. Nesse caso, sob orientação médica, podem ser recomendados ao paciente sais de reidratação oral ou soro caseiro, os quais contêm cloreto de sódio (NaCℓ) e sacarose, uma alternativa fácil, eficiente e de baixo custo.

Após a ingestão, a sacarose do soro caseiro é transformada em glicose e frutose, que, com o cloreto de sódio, são absorvidas no intestino e entram em contato com as membranas celulares. A membrana celular é **semipermeável**, ou seja, permite a passagem de apenas determinados componentes, como a água e alguns solutos nela presentes. As moléculas de glicose e os íons sódio, por exemplo, podem entrar nas células intestinais simultaneamente por meio de uma proteína da membrana celular em um processo denominado **transporte ativo**, pois envolve gasto energético. Dessa forma, a concentração de glicose e íons sódio aumenta no interior das células após a ingestão do soro fisiológico.

Esse aumento de concentração de substâncias no interior das células, por sua vez, faz com que aumente o fluxo de água do meio extracelular para dentro das células, reidratando o paciente. Esse fluxo de solvente de um meio para outro através de uma membrana semipermeável é conhecido como **osmose**. Ele é espontâneo e o fluxo de moléculas de água é maior do meio mais diluído para o mais concentrado.

Proponha aos estudantes que expliquem algumas situações do dia a dia, como a ascensão da seiva nas plantas, o motivo de não se poder ingerir água do mar ou se é conveniente alterar a concentração do soro fisiológico (solução 0,9% de NaCℓ) utilizado para fins terapêuticos. Todas as situações mencionadas envolvem o processo osmótico.

Deslocamento de solvente através da membrana semipermeável



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

(A) A membrana semipermeável separa a solução mais concentrada (à esquerda do tubo) da solução menos concentrada (à direita), de forma que ocorre, predominantemente, a passagem de solvente da solução diluída para a solução concentrada (osmose). **(B)** A passagem do solvente pode ser percebida pelo desnível entre as duas soluções (Δh). (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

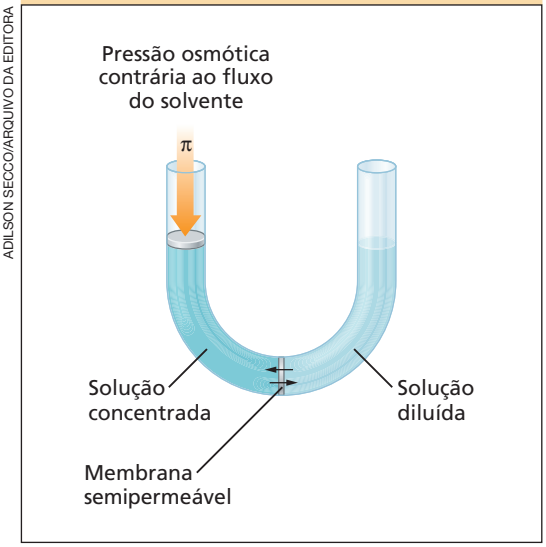
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Mas, se a osmose é um processo espontâneo, como seria possível revertê-lo, de forma que o solvente fluísse da solução mais concentrada para a solução mais diluída, permitindo seu uso do fenômeno na dessalinização da água?

O processo de osmose pode ser interrompido pela aplicação de pressão na solução mais concentrada do sistema, conforme representado na imagem a seguir. Essa pressão, que depende apenas do número de partículas dissolvidas, é chamada **pressão osmótica** (π) da solução. Ela pode ser entendida como a força aplicada sobre determinada área que limita a passagem de solvente da solução menos concentrada para a mais concentrada. Por exemplo, a pressão osmótica da água do mar contendo cerca de 35 g de sais dissolvidos por litro de solução é em torno de 27 atm.

Aplicação da pressão sob um sistema osmótico

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA



A pressão aplicada no lado da solução mais concentrada, conhecida como pressão osmótica da solução, interrompe o processo de osmose. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Por meio de medidas experimentais com soluções diluídas, foi possível descrever a pressão osmótica em termos da concentração da solução, da temperatura do sistema e de uma constante de proporcionalidade, conforme a equação a seguir.

$$\pi = cRTi$$

em que

π = pressão osmótica da solução;

c = concentração em quantidade de substância da solução;

R = constante universal dos gases (0,082 L atm K^{-1} mol^{-1} ou 62,4 L mmHg K^{-1} mol^{-1});

T = temperatura (em K);

i = fator de van't Hoff.

Por exemplo, de acordo com essa equação, a pressão exercida por uma solução contendo 0,10 mol L^{-1} de soluto molecular, a 25 °C ou 298 K, 1 atm e $i = 1$, é:

$$\pi = cRTi$$

$$\pi = 0{,}10 \text{ mol } L^{-1} \cdot 0{,}082 \text{ L atm } K^{-1} \text{ mol}^{-1} \cdot 298 \text{ K} \cdot 1$$

$$\therefore \pi \simeq 2{,}4 \text{ atm}$$

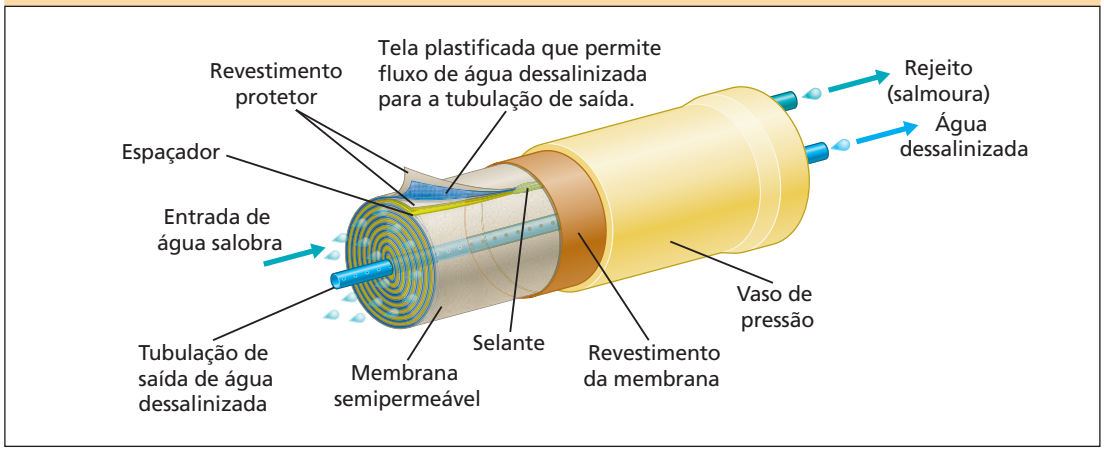
Assim, ao aplicar pressão externa maior que a pressão osmótica, inverte-se o sentido do fluxo espontâneo do solvente, enquanto os solutos dissolvidos permanecem na solução, retidos pela membrana semipermeável. No exemplo apresentado, para que o fluxo fosse invertido, seria necessário

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

aplicar uma pressão superior a 2,4 atm. Esse processo, denominado **osmose reversa**, pode ser muito útil quando os solutos são indesejáveis, como no caso de contaminantes ou sais em excesso. Um processo de osmose reversa é representado no esquema a seguir.

Equipamento de osmose reversa para obtenção de água dessalinizada

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA



Representação esquemática em corte de um equipamento de osmose reversa. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Fonte: elaborado com base em ABUSHAWISH, A. *et al.* Desalination Pretreatment Technologies: Current Status and Future Developments. **Water**, Basel, n. 8, v. 15, p. p. 1.572-1.614, 2023. Disponível em: https://www.mdpi.com/2073-4441/15/8/1572. Acesso em: 24 out. 2024.

O esquema anterior mostra que a água salobra é bombeada para o sistema e atravessa a membrana semipermeável. No lado de menor pressão, a água que sai apresenta menor concentração de sais. Antes da etapa de osmose reversa propriamente dita, alguns procedimentos análogos ao tratamento de água convencional são necessários. Por exemplo, a remoção de algas, peixes e resíduos orgânicos e, dependendo do local em que a água foi coletada, etapas como floculação e decantação são importantes para evitar o entupimento dos poros das membranas. Pode-se também realizar uma etapa de pré-cloração, de forma controlada, pois o cloro residual pode danificar a membrana semipermeável. Após a dessalinização, aplica-se um agente desinfectante, como hipoclorito de sódio ou gás cloro, além da fluoretação, se o objetivo for a obtenção de água para abastecimento da população.

Os sistemas de osmose reversa permitem reduzir a salinidade inicial, de aproximadamente 35 g L^{-1}, para níveis aceitáveis para o consumo humano, cerca de 1,5 g L^{-1}. Conforme a água passa pela membrana semipermeável, a concentração de sais aumenta na região de entrada da água salgada/salobra, levando a solução a atingir o ponto de saturação, em que alguns sais começam a precipitar. Esses precipitados são um dos principais obstáculos para o prosseguimento da osmose reversa, em razão do entupimento dos poros da membrana.

Comparativamente, o método de dessalinização por osmose reversa tem um custo três vezes menor que o método térmico, que será explicado mais adiante. Por essa razão, esse método é mais procurado para locais com escassez de combustíveis fósseis e que, com a falta de fontes de água doce, dependem da dessalinização da água do mar ou outras fontes de água salobra.

No arquipélago de Fernando de Noronha (PE), por exemplo, a osmose reversa é o principal recurso para a produção de água potável para abastecer a população. Além da dessalinização, a osmose reversa pode ser utilizada no tratamento de efluentes.

Destilação

Outro método eficaz para a dessalinização da água é a **destilação**, um processo de separação de misturas homogêneas no qual duas ou mais substâncias são separadas de acordo com sua temperatura de ebulição. O procedimento consiste em aquecer a mistura até que ela entre em ebulição. O vapor, em equilíbrio com a solução em aquecimento, possuem composições químicas diferentes.

Quando as diferenças nas temperaturas de ebulição dos componentes da mistura são muito grandes, como é o caso da água e dos sais nela dissolvidos, o vapor é composto da substância de menor temperatura de ebulição, nesse caso, a água. A mistura que permanece no recipiente e que está sendo

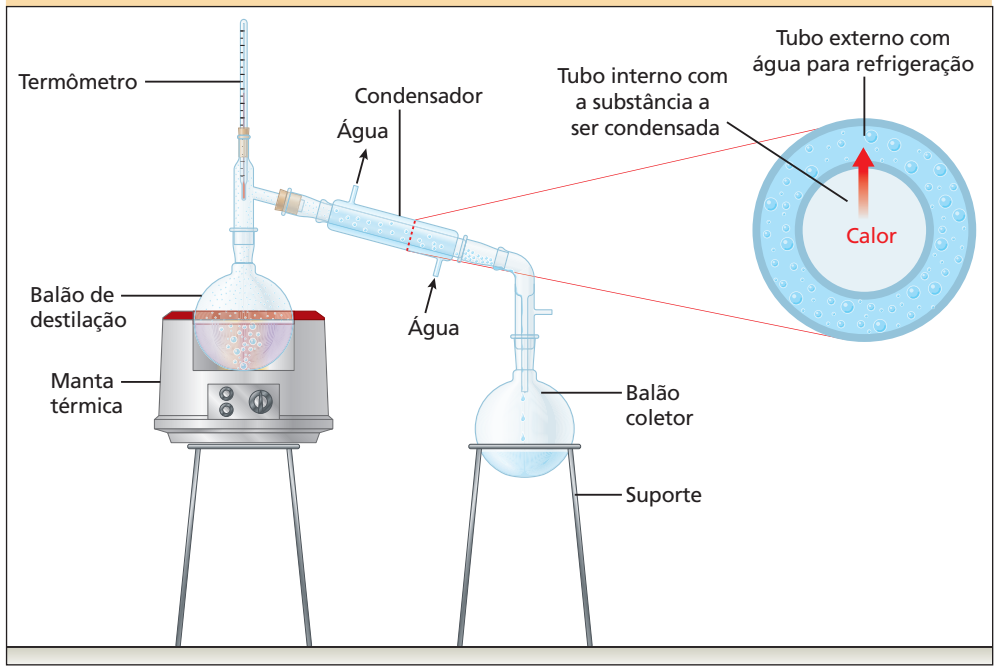
Pergunte aos estudantes se a água dessalinizada por esse método pode ser ingerida sem riscos à saúde. Nesse ponto, é importante enfatizar que, apesar de a água obtida estar mais próxima do padrão de potabilidade, não se pode garantir que todos os parâmetros tenham sido atingidos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

aquecida vai ficando cada vez mais rica dos componentes de maior temperatura de ebulição, enquanto o vapor formado é continuamente encaminhado para um tubo resfriado, o condensador. Ao entrar em contato com a parede do condensador, pela diferença de temperatura, o vapor se condensa e o líquido resultante é recolhido na outra extremidade do equipamento.

A figura a seguir mostra os equipamentos e vidrarias necessários para separar misturas de substâncias sólidas dissolvidas em substâncias líquidas ou misturas de líquidos que apresentam temperaturas de ebulição bastante distintas.

Processo de destilação simples



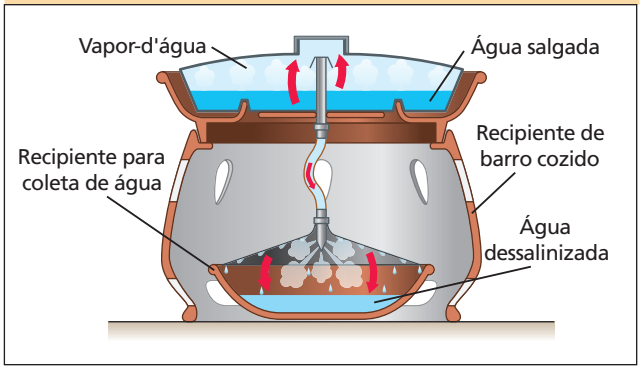
ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em BROWN, T. L. *et al*. **Chemistry**: The Central Science. 14th ed. New York: Pearson, 2018.

Representação esquemática de um processo de destilação simples em laboratório. A manta térmica foi representada em corte a fim de ilustrar o conteúdo do balão de destilação. No destaque, esquema em corte do condensador, vidraria composta de dois tubos concêntricos. Pelo tubo externo circulam água ou gases resfriados que retiram energia do vapor aquecido que passa pelo tubo interno, levando à sua condensação. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Alguns equipamentos para a dessalinização da água foram desenvolvidos com base nos princípios do processo de destilação simples. No equipamento representado a seguir, o Sol é a fonte de energia que aquece a água salgada ou salobra e faz com que a água passe da fase líquida para a fase gasosa (vapor-d'água). O tubo no centro do recipiente direciona a saída do vapor-d'água até a parte inferior do aparato, que está a uma temperatura menor em razão da circulação de ar e da sombra proporcionada pelo recipiente de barro cozido. Dessa forma, o vapor-d'água resfria e se condensa, completando a etapa de dessalinização.

Equipamento para dessalinização da água



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: HOFFMANN, C. Dessalinizador de água caseiro e portátil. Disponível em: http://www.amenidadesdodesign.com.br/2015/01/dessalinizador-de-agua-caseiro-e.html. Acesso em: 20 set. 2024.

Representação esquemática em corte de um equipamento para dessalinização de água. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Esse sistema é vantajoso, pois emprega apenas energia solar. No entanto, apesar de engenhoso, esse equipamento permite obter água dessalinizada a taxas menores do que o sistema utilizado em laboratório, além de depender de dias ensolarados. A maior dessalinizadora do mundo, localizada na Arábia Saudita, emprega o método térmico, que tem como base o processo de destilação simples. Esse método utiliza como fonte de energia a queima de combustíveis fósseis, recurso finito que tende a encarecer o processo de obtenção de água para consumo humano.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Um aspecto interessante na dessalinização da água por destilação simples é que ela demonstra a lei de Raoult. A água evapora no balão de destilação e se condensa no balão coletor, enquanto os sais permanecem dissolvidos na fase líquida da solução, aumentando gradativamente suas concentrações. Consequentemente, com o passar do tempo, a pressão de vapor-d'água diminui, reduzindo a taxa de evaporação. Note que, na situação descrita, tanto a temperatura quanto a pressão foram mantidas constantes.

Os métodos de dessalinização que aplicam a destilação, assim como a osmose reversa, geram como resíduo uma solução aquosa com concentração de sais superior à inicial. Por isso, estratégias adequadas de disposição e descarte desse resíduo são necessárias para evitar a contaminação de solos, fauna, flora e corpos de água superficiais e subterrâneos. Algumas ações que podem evitar impactos ambientais relacionados à disposição incorreta desses resíduos são a evaporação da água para a obtenção dos sais, a utilização como água de irrigação no cultivo de plantas halófitas (tolerantes à salinidade de até 15 g L^{-1}) e o uso como melhorador de sabor de tilápias criadas em viveiros de terra.

Os vasos de barro tradicionalmente utilizados no Brasil têm suas origens culturais profundamente enraizadas na história do país. Essa prática remonta às civilizações indígenas que habitavam o território antes da colonização europeia. Os povos originários desenvolveram técnicas avançadas de cerâmica, produzindo vasos de barro tanto para fins utilitários quanto cerimoniais. A cerâmica era apreciada não apenas pela sua funcionalidade, mas também pela sua estética, muitas vezes adornada com motivos simbólicos e representações da natureza. Com o passar dos séculos, essa tradição foi preservada e incorporada à cultura brasileira, influenciando a produção de artesanato e cerâmica em diversas regiões do país.

Vasos de barro como esse desempenham papel significativo no acondicionamento de água. A porosidade da cerâmica permite que a água passe através dela. A evaporação através das paredes dos vasos de barro cria um efeito de resfriamento, tornando a água armazenada mais fresca.

PIRATÁ WAURÁ/PULSAR IMAGENS

Xamã da aldeia Piyulaga pintando à mão detalhes em um pote de cerâmica. Parque Indígena do Xingu em Gaúcha do Norte (MT), 2024.

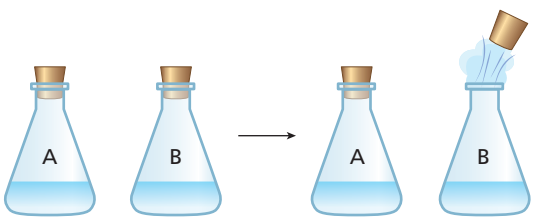
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

4. Considere a sequência de eventos representada a seguir, em que os frascos, as rolhas e os volumes de líquido dos frascos A e B são idênticos.



Estado inicial Estado final

(Imagem sem escala; cores-fantasia.)

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Sabe-se que os líquidos contidos nos recipientes A e B são diferentes e foram mantidos à mesma temperatura ao longo do experimento. Crie uma hipótese plausível que explique o evento ocorrido no estado final. Faça um gráfico com o esboço das curvas de pressão de vapor em função da temperatura para as duas substâncias, posicionando-as de modo consistente à observação do fenômeno em questão.

5. Quais características uma solução real deve apresentar para que se aproxime do comportamento de uma solução ideal e, assim, obedeça à lei de Raoult?

6. Estime o fator de van't Hoff para os solutos a seguir nas condições apresentadas e demonstre, por meio de uma equação química, o comportamento dos compostos em água.

a. Frutose, $C_6H_{12}O_6$ ($\alpha = 0\%$)

b. Ácido fosfórico, H_3PO_4 ($\alpha = 27\%$)

EM FOCO

Dessalinização para abastecimento hídrico

Ceará planeja construir a primeira grande usina de dessalinização do país; novas tecnologias são pesquisadas no Brasil e no exterior para reduzir o custo do processo

Um dos estados brasileiros mais castigados pela falta de chuvas e escassez hídrica, o Ceará prepara-se para construir a maior usina de dessalinização de água marinha do país. Quando estiver pronto, o empreendimento, cujo projeto foi iniciado em 2016, irá reforçar o sistema de abastecimento da capital, Fortaleza, e dos municípios da região metropolitana, uma mancha urbana onde vivem mais de 4 milhões de pessoas.

[...]

A expectativa é de que a nova usina retire o sal da água marinha por meio da técnica de osmose reversa, embora a definição final caiba ao vencedor da licitação. Esse é o método de dessalinização mais barato e usado no mundo. Nele, uma bomba de alta pressão força a água a passar por membranas poliméricas com orifícios minúsculos, que retêm os sais. O gasto energético desse processo chega a 4 quilowatts-hora (kWh) por m^3 de água purificada. A tecnologia representa 84% do total de operações de dessalinização no mundo. [...]

Atualmente 15,9 mil plantas de dessalinização encontram-se em operação no planeta, com capacidade para purificar cerca de 95 milhões de m^3 de água por dia, segundo estudo publicado em dezembro de 2018 na revista *Science of the Total Environment*. Essas usinas estão localizadas principalmente no Oriente Médio, norte da África, Estados Unidos, China e Austrália. Na Europa, a Espanha é o principal país a usar a tecnologia. [...]

Custo é entrave

Arábia Saudita e Emirados Árabes Unidos estão entre os países que mais usam a tecnologia para a produção de água potável a partir da água do mar. A maior usina do mundo, [...] com produção de 1 milhão de m^3 de água por dia (11,5 m^3 por segundo), fica na Arábia Saudita. A técnica mais comum por lá é a dessalinização térmica, na qual a água salgada é armazenada em tanques aquecidos. Quando evapora, acumula-se na parte superior do reservatório e, ao se condensar, transforma-se em água pura, sem os sais [...].

Um dos problemas da dessalinização térmica é a elevada demanda de energia, que pode chegar a 15 kWh/m^3. A principal fonte de energia térmica usada no processo são combustíveis fósseis, como petróleo e gás, abundantes naquela região. O custo da dessalinização térmica é por volta de três vezes maior do que o da técnica de osmose reversa, chegando a cerca de US$ 6 por m^3 de água tratada.

Pesquisadores de vários países estudam novos sistemas de dessalinização mais eficientes e econômicos – o alto consumo de energia é o principal entrave para a adoção em larga escala da dessalinização, sobretudo em países em desenvolvimento. Uma das novas tecnologias em estudo é a deionização capacitiva, processo eletroquímico que retém os íons da água no momento em que ela passa entre dois eletrodos porosos de carbono eletricamente carregados. "A deionização capacitiva ainda está em desenvolvimento, mas tem se mostrado promissora. No caso da dessalinização de águas salobras, é até mais barata do que a osmose reversa", diz o engenheiro químico Luís Augusto Martins Ruotolo, do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). [...]

Segundo Ruotolo, a principal vantagem desse sistema é que, ao contrário da osmose reserva, pressões elevadas não são necessárias para a operação do equipamento. "Isso implicaria uma diminuição da demanda energética e dos custos de operação", explica. No Brasil, o grupo de Ruotolo desenvolveu um processo de deionização capacitiva à base de carvões ativados com poros nanométricos [...]

Outra estratégia que vem ganhando destaque é o uso de membranas feitas de óxido de grafeno, caracterizadas como folhas de carbono com espessura atômica, em sistemas de osmose reversa. A ideia é usá-las como uma peneira para remover o sal da água marinha ou salobra, como a encontrada em poços perfurados no semiárido brasileiro. Estima-se que seu emprego reduza em até 50% o gasto energético para bombear a água pelos filtros. Isso porque há menos

Continua

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Continuação

atrito quando se força a passagem da água salgada por membranas de grafeno em comparação com as tradicionais de polímero.

Cientistas ao redor do mundo têm se debruçado sobre essa tecnologia. No Brasil, pesquisadores das universidades Estadual da Paraíba (UEPB), Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) e Federal da Paraíba (UFPB) trabalham na criação de membranas nanoestruturadas de grafeno para dessalinizar água salobra. Além da redução do custo, outra vantagem desse método é que os filtros de grafeno não precisam ser limpos com a mesma frequência dos filtros de membranas de osmose reversa. O grafeno também é imune aos efeitos do cloro, usado durante o processo de limpeza e que reduz a integridade estrutural das membranas poliméricas, fazendo com que precisem ser substituídas com mais frequência.

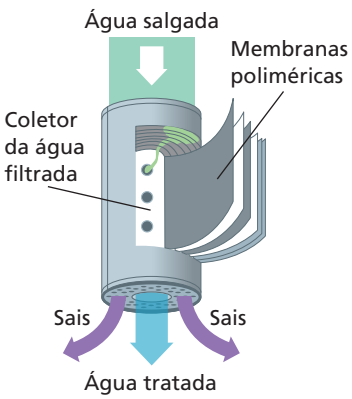
[...]

Processos de dessalinização

Conheça as principais técnicas existentes e os métodos em desenvolvimento

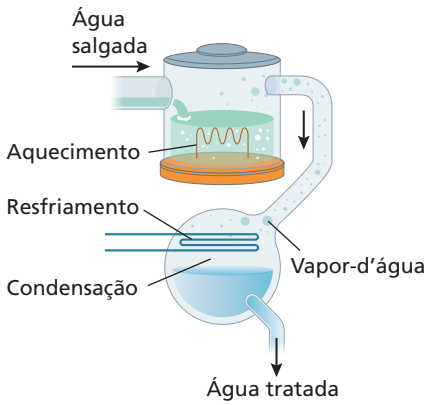
OSMOSE REVERSA

Sob alta pressão, a água no mar passa por membranas poliméricas, dotadas de minúsculos orifícios, que retêm os sais presentes no líquido. É o método mais usado no mundo.



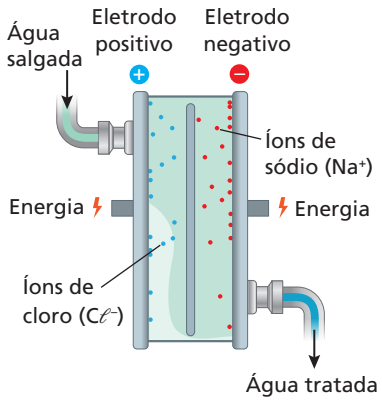
DESSALINIZAÇÃO TÉRMICA

A água salgada é aquecida e evapora, acumulando-se na parte interna do tanque. Em outro compartimento, o vapor é resfriado, condensa-se e transforma-se novamente em água líquida. Técnica tem elevado gasto energético.



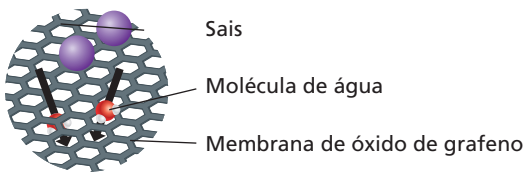
DEIONIZAÇÃO CAPACITIVA

Nesse processo eletroquímico, o líquido passa entre dois eletrodos porosos de carbono eletricamente carregados que fazem a retenção dos íons de sódio e cloro presentes na água salgada. O método ainda está em desenvolvimento.



ÓXIDO DE GRAFENO

Nesse sistema de osmose reversa, a filtragem é realizada por membranas feitas de óxido de grafeno. Elas deixam passar as moléculas de água, mas retêm os sais. O processo não é comercial.



Fonte: ANDRADE, R. O. Para tirar o sal da água. **Pesquisa Fapesp**, São Paulo, ed. 279, maio 2019. Disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/para-tirar-o-sal-da-agua. Acesso em: 28 jun. 2024.

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. Por que a técnica de osmose reversa é a mais amplamente usada no mundo para a dessalinização?
2. Qual é a principal vantagem da tecnologia de deionização capacitiva em comparação com a osmose reversa?
3. Como as membranas de óxido de grafeno podem melhorar a eficiência da dessalinização e reduzir o consumo de energia?
4. Apesar dos claros benefícios à população, a instalação de uma usina de dessalinização pode causar diversos impactos ambientais. Faça uma pesquisa e organize uma pequena apresentação aos demais colegas sobre os pontos de atenção levantados pela ONU sobre os impactos ambientais gerados pelas usinas de dessalinização, como a que está sendo construída no estado do Ceará. Indique também os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) contemplados na construção de uma usina de dessalinização.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

ATIVIDADES DE FECHAMENTO

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. (Uece) As invenções do banho-maria, do *dibikos* e do *tribikos*, estes últimos usados para a destilação, são atribuídas a Maria, a Judia, uma egípcia helenizada que viveu em Alexandria e que é considerada a mais antiga de todas as alquimistas. 1. Alternativa **a**.

A destilação hoje é feita por destiladores elétricos, mas outros equipamentos ainda persistem nos laboratórios de Química. Sobre destilação é correto afirmar-se que

a. o balão de vidro, o tripé de ferro, a tela de amianto, o condensador, o suporte universal e o termômetro, entre outros, compõem os equipamentos nela utilizados.

b. a destilação simples é utilizada para separar componentes de uma mistura de vários líquidos imiscíveis.

c. os equipamentos da destilação só são utilizados para separar componentes de uma mistura heterogênea de sólido e líquido.

d. para evitar acidentes, a água de resfriamento do sistema deverá entrar pela parte superior do condensador e sair pela parte inferior.

Observe o fluxograma, que mostra alguns processos de separação que ocorrem em uma estação de tratamento de água (ETA), e responda às questões 2 e 3.

2. De acordo com o fluxograma, as etapas (3) e (4) são, respectivamente: 2. Alternativa **b**.

a. filtração e decantação.

b. decantação e filtração.

c. pré-cloração e filtração.

d. desinfecção e decantação.

e. filtração e liquefação.

3. Analise as seguintes afirmações sobre o processo.

I. As partículas retidas na etapa (4) tendem a ser menores que as partículas retidas na etapa (3).

II. A etapa (3) também é chamada coagulação.

III. Após a etapa (4), tem-se uma única substância.

Está(ão) incorreta(s): 3. Alternativa **e**.

a. I e III.

b. II e III.

c. apenas II.

d. apenas III.

e. todas as alternativas.

4. A tabela a seguir apresenta os fatores de van't Hoff para vários compostos em diferentes concentrações.

Fatores de van't Hoff para algumas substâncias a 25 °C

Composto	Concentração			Valor teórico
	0,100 mol kg^{-1}	0,0100 mol kg^{-1}	0,00100 mol kg^{-1}	
Sacarose	1,00	1,00	1,00	1,00
NaCℓ	1,87	1,94	1,97	2,00
K_2SO_4	2,32	2,70	2,84	3,00
$MgSO_4$	1,21	1,53	1,82	2,00

Fonte: BROWN, T. L. *et al*. **Química**: a ciência central. Tradução: Eloiza Lopes, Tiago Jonas e Sonia M. Yamamoto. 13. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2016.

Fatores de van't Hoff, teóricos e empíricos, para algumas substâncias a 25 °C.

Ao analisar os dados apresentados na tabela, é possível concluir que 4. Alternativa **c**.

a. a diminuição da concentração afeta o fator de van't Hoff igualmente tanto para solutos que são eletrólitos quanto para os que são não eletrólitos.

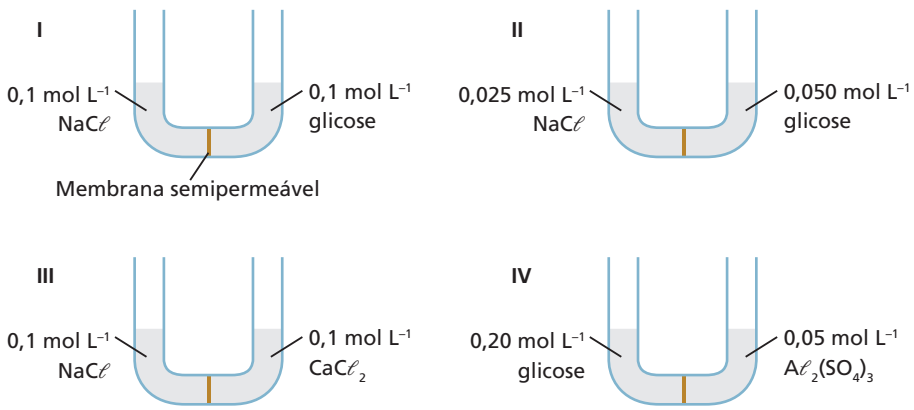
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

b. o fator de van't Hoff não se correlaciona com a concentração das soluções eletrolíticas.
c. quanto menor a concentração, mais o valor de *i* observado se aproxima do valor teórico.
d. a natureza dos compostos iônicos não interfere no afastamento do fator de van't Hoff observado em relação ao seu valor teórico.

5. Em dois recipientes idênticos separados por uma membrana semipermeável há volumes iguais de duas soluções de cloreto de sódio, uma com concentração de 6 mol L^{-1} e outra com concentração de 3 mol L^{-1}. Após algum tempo, o que se observará quanto ao volume das soluções nesse sistema? Explique sua resposta.

6. (Enem) Alguns tipos de dessalinizadores usam o processo de osmose reversa para obtenção de água potável a partir da água salgada. Nesse método, utiliza-se um recipiente contendo dois compartimentos separados por uma membrana semipermeável: em um deles coloca-se água salgada e no outro recolhe-se a água potável. A aplicação de pressão mecânica no sistema faz a água fluir de um compartimento para o outro. O movimento das moléculas de água através da membrana é controlado pela pressão osmótica e pela pressão mecânica aplicada.
Para que ocorra esse processo é necessário que as resultantes das pressões osmótica e mecânica apresentem 6. Alternativa **e**.
a. mesmo sentido e mesma intensidade.
b. sentidos opostos e mesma intensidade.
c. sentidos opostos e maior intensidade da pressão osmótica.
d. mesmo sentido e maior intensidade da pressão osmótica.
e. sentidos opostos e maior intensidade da pressão mecânica.

7. Considere as representações a seguir e indique a situação final em cada um dos experimentos, mencionando possíveis aumentos ou diminuições dos níveis de líquido. Indique também, para cada experimento, qual das duas soluções tem inicialmente a maior pressão osmótica.



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

8. Uma pessoa desidratada pode vir a receber soro diretamente nas veias, a fim de repor o líquido perdido. Esse soro, porém, deve ter concentração que gere uma pressão osmótica idêntica à do sangue. Explique:
a. O que aconteceria com as hemácias se a concentração do soro fosse superior à do sangue?
b. Qual é a relação dessa situação com o fato de um náufrago não poder tomar água do mar para matar sua sede?

9. A composição da água bruta captada em represas e rios pode variar e, por isso, as quantidades necessárias de agentes coagulantes, como o sulfato de alumínio, $A\ell_2(SO_4)_3$, e alcalinizante, como o hidróxido de cálcio, $Ca(OH)_2$, a serem empregadas na etapa de coagulação também variam. A fim de determinar a proporção de coagulante e de alcalinizante necessária para alcançar maior eficiência nessa etapa, realiza-se um ensaio conhecido como teste de jarros (*jar-test*), que consiste em avaliar a coagulação em alíquotas da água a ser tratada, adicionando-se proporções distintas dos reagentes e, ao final da coagulação, avaliar a turbidez do líquido.

Proponha um procedimento que sistematize as etapas envolvidas no teste de jarros de forma que, ao final delas, obtenham-se o volume de solução do agente coagulante e o volume de alcalinizante que devem ser utilizados no tratamento de água.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Capítulo 11

Cinética química e conservação de alimentos

CASANISA/SHUTTERSTOCK

Alimentos imersos em solução salina conservante.

Fique por dentro

Reações e taxas

PHET INTERACTIVE SIMULATIONS. University of Colorado Boulder. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/reactions-and-rates. Acesso em: 17 set. 2024.

Esse simulador permite trabalhar pontos relacionados à rapidez das reações químicas. Por isso, pode auxiliar a aprendizagem em diversos momentos no estudo do capítulo, sobretudo para ajudar na compreensão dos modelos explicativos e dos fatores que alteram a rapidez de uma reação química.

O bom acondicionamento dos alimentos é de extrema importância para o transporte por longas distâncias, para o armazenamento por longos períodos e para a garantia de consumo seguro. As técnicas de conservação de alimentos têm por objetivo preservar tanto nutrientes quanto características organolépticas (coloração, sabor, aroma e textura) e se baseiam, principalmente, em evitar alterações causadas por agentes físicos (luz e calor), químicos (gás oxigênio e água) e biológicos (microrganismos). Algumas delas são empregadas desde a Antiguidade, como defumação, recobrimento com sal de cozinha ou açúcar comum, imersão em álcool etílico, salmoura, vinagre, óleo ou calda de açúcar, além da adição de especiarias.

Atualmente, é comum o acondicionamento dos alimentos a temperaturas mais baixas em geladeiras e congeladores, o uso de embalagens a vácuo ou o emprego de liofilização (tecnologia de secagem por sublimação). Além das medidas citadas, a indústria alimentícia emprega alguns aditivos alimentares que atuam como acidulantes, conservantes e antioxidantes. Os conservantes e os acidulantes têm como principal foco os agentes biológicos de deterioração dos alimentos, enquanto os antioxidantes têm como foco os agentes químicos.

Alguns dos métodos apontados reduzem, de alguma forma, a rapidez das transformações químicas envolvidas na deterioração dos alimentos. Por isso, a **cinética química** – como é chamado o estudo da rapidez em que ocorre uma reação química e dos fatores que a influenciam, que será abordado neste capítulo – pode contribuir para minimizar o desperdício de alimentos pelo aumento de sua vida útil.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Rapidez ou taxa média de reação

Na indústria, o tempo necessário para que uma transformação química ocorra é um dos fatores que determinam as condições de armazenamento dos produtos e/ou as condições às quais os reagentes usados em algum processo serão submetidos. Dessa forma, é possível aumentar a rapidez de processos desejáveis ou diminuir a rapidez dos processos indesejáveis.

De modo geral, as reações químicas podem ser consideradas rápidas – quando ocorrem em um intervalo de tempo pequeno, como em uma explosão – ou lentas – quando demandam longo tempo para se completar, como na formação da ferrugem. Entretanto, como essa classificação é relativa, ou seja, depende de um referencial de comparação, é importante definir critérios de comparação mais adequados. Por esse motivo, a **rapidez** ou **taxa** de uma reação química é determinada pela variação na quantidade das substâncias (reagente ou produto) que participam da reação durante o tempo de observação.

A expressão **velocidade de reação**, embora ainda bastante usada, é desaconselhada, pois se refere a uma grandeza vetorial – que está associada a uma direção e a um sentido –, o que não ocorre no caso das reações químicas. No entanto, é recomendável citar aos estudantes que essa expressão ainda pode aparecer em alguma referência ou questão de vestibular.

Os dados utilizados para determinar a taxa de uma reação química são, em geral, obtidos experimentalmente. Para isso, monitora-se a variação da concentração de certa substância com o uso de um detector, escolhido de acordo com as propriedades dessa substância.

Para compreender esse conceito, vamos considerar a reação, representada a seguir, de decomposição do peróxido de hidrogênio (H_2O_2), substância presente na água oxigenada.

$$2\ H_2O_2(aq) \rightarrow 2\ H_2O(\ell) + O_2(g)$$

O único produto gasoso formado é o O_2. Conforme essa substância é produzida em um recipiente fechado, a pressão do sistema aumenta, podendo ser quantificada ao longo do tempo por meio de um detector de pressão (manômetro). Os resultados da observação dessa reação são apresentados na tabela a seguir.

Concentração das substâncias envolvidas na decomposição de H_2O_2

Tempo (min)	$[H_2O_2]$ (10^{-2} mol L^{-1})	$[H_2O]$ (10^{-2} mol L^{-1})	$[O_2]$ (10^{-2} mol L^{-1})
0	10,00	0,00	0,00
50	9,32	0,68	0,34
100	8,68	1,32	0,66
150	8,08	1,92	0,96
200	7,48	2,52	1,26
250	6,96	3,04	1,52
300	6,48	3,52	1,76
350	6,16	3,84	1,92

Fonte: elaborado com base em PATERNINA, E. *et al*. Estudio cinético de la descomposición catalizada del peróxido de hidrógeno sobre carbón activado. **Química Nova**, v. 32, n. 4, p. 934-938, 2009.

Dados referentes à reação de decomposição de H_2O_2.

Para medir a **taxa média** (T_m) com a qual um reagente é consumido ou um produto é formado em uma reação, divide-se a variação da concentração do reagente ou produto, geralmente em mol L^{-1}, por determinado intervalo de tempo. Matematicamente, isso pode ser representado pelas equações:

$$T_m(R) = -\frac{\Delta[R]}{\Delta t} \qquad T_m(P) = \frac{\Delta[P]}{\Delta t}$$

em que $T_m(R)$ e $T_m(P)$ são, respectivamente, a taxa média de consumo de um reagente e a taxa média de formação de um produto; $\Delta[R]$ e $\Delta[P]$ são, respectivamente, a variação da concentração dos reagentes e dos produtos; e Δt é a variação do tempo.

Como os reagentes são sempre consumidos durante a reação, a concentração de R decresce com o tempo e, portanto, $\Delta[R]$ terá valor negativo. O sinal de menos na equação química faz com que a taxa da reação tenha um valor positivo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Retomando os dados apresentados na tabela, é possível calcular a taxa da reação química em diferentes intervalos de tempo. Por exemplo, a taxa média de consumo do $H_2O_2(aq)$ nos primeiros 50 minutos será:

$$T_{m(H_2O_2)} = -\frac{9{,}32 \cdot 10^{-2}\ \text{mol L}^{-1} - 10 \cdot 10^{-2}\ \text{mol L}^{-1}}{50\ \text{min} - 0\ \text{min}}$$

$$T_{m(H_2O_2)} = 1{,}36 \cdot 10^{-4}\ \text{mol L}^{-1}\ \text{min}^{-1}$$

Já a taxa média de produção de $H_2O(\ell)$ nos primeiros 50 minutos será:

$$T_{m(H_2O)} = \frac{0{,}68 \cdot 10^{-2}\ \text{mol L}^{-1} - 0\ \text{mol L}^{-1}}{50\ \text{min} - 0\ \text{min}}$$

$$T_{m(H_2O)} = 1{,}36 \cdot 10^{-4}\ \text{mol L}^{-1}\ \text{min}^{-1}$$

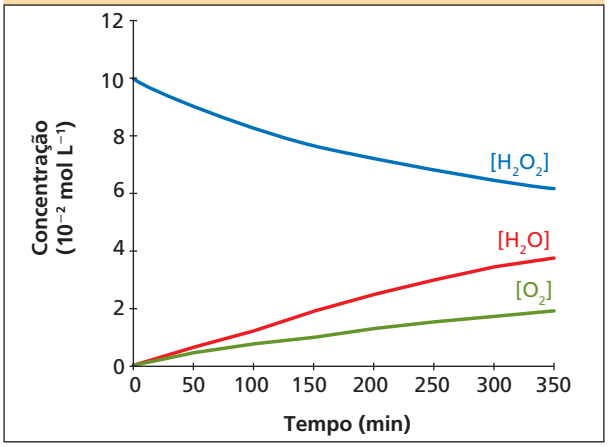
Note que as taxas médias de consumo de $H_2O_2(aq)$ e $H_2O(\ell)$ são iguais. Observando a equação química, note ainda que os coeficientes estequiométricos dessas duas espécies químicas também são iguais. Calculando a taxa média de produção de $O_2(g)$ no mesmo intervalo de tempo, temos:

$$T_{m(O_2)} = \frac{0{,}34 \cdot 10^{-2}\ \text{mol L}^{-1} - 0\ \text{mol L}^{-1}}{50\ \text{min} - 0\ \text{min}}$$

$$T_{m(O_2)} = 0{,}68 \cdot 10^{-4}\ \text{mol L}^{-1}\ \text{min}^{-1}$$

A taxa de produção do gás $O_2(g)$ é exatamente a metade da produção de $H_2O(\ell)$ e do consumo de $H_2O_2(g)$, ou seja, as taxas são proporcionais aos coeficientes estequiométricos da equação química.

Concentrações de reagentes e produtos na decomposição de H_2O_2



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em PATERNINA, E. *et al*. Estudio cinético de la descomposición catalizada del peróxido de hidrógeno sobre carbón activado. **Química Nova**, v. 32, n. 4, p. 934-938, 2009.

Variação da concentração das substâncias envolvidas na decomposição de H_2O_2 em função do tempo.

O desenvolvimento da reação em relação às concentrações de todas as substâncias que dela participam pode ser representado em um único gráfico construído com base nos dados da tabela apresentada anteriormente.

Observa-se que, com o passar do tempo, a concentração de peróxido de hidrogênio no meio reacional diminui, pois ele se decompõe. Isso faz com que a taxa média de consumo diminua com o tempo. No entanto, a concentração dos produtos água e gás oxigênio aumenta, seguindo a proporção estequiométrica.

Contudo, não é conveniente que uma única reação apresente diversos valores para representar sua rapidez. Para resolver o problema, é possível calcular a **taxa média de reação** ($T_{m(\text{Reação})}$), dividindo-se a expressão da rapidez em função de dada substância pelo seu coeficiente estequiométrico.

$$T_{m(\text{Reação})} = -\frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta[H_2O_2]}{\Delta t} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta[H_2O]}{\Delta t} = \frac{\Delta[O_2]}{\Delta t}$$

Assim, a taxa média da reação de decomposição do H_2O_2, no intervalo de 0 a 50 minutos, é:

$$T_{m(\text{Reação})} = -\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{(9{,}32 - 10{,}00) \cdot 10^{-2}\ \text{mol L}^{-1}}{(50 - 0)\ \text{min}}\right) =$$

$$= \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{(0{,}68 - 0{,}00) \cdot 10^{-2}\ \text{mol L}^{-1}}{(50 - 0)\ \text{min}}\right) = \left(\frac{(0{,}34 - 0{,}00) \cdot 10^{-2}\ \text{mol L}^{-1}}{(50 - 0)\ \text{min}}\right)$$

$$T_{m(\text{Reação})} = 6{,}80 \cdot 10^{-5}\ \text{mol L}^{-1}\ \text{min}^{-1}$$

Enfatize que se pode calcular a taxa de consumo dos reagentes, a taxa de formação dos produtos e a taxa média da reação, dependendo do objetivo da análise.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

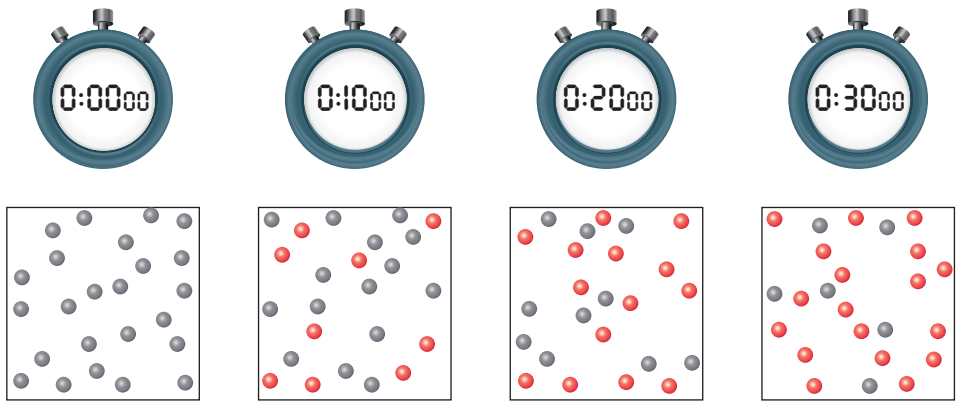
1. Em um laboratório foi estudada a rapidez do ataque ácido sobre o mármore, como o que acontece pela ação da chuva ácida sobre o Parthenon, em Atenas, na Grécia. Para isso, foi monitorada a perda de massa ocasionada pela liberação de gás carbônico ao longo do tempo. Observe alguns dados com relação a esse estudo:

Tempo decorrido (min)	0	4	8	12	16	20	24
Perda de massa (g)	0,00	0,16	0,32	0,42	0,44	0,45	0,45

a. Construa um gráfico indicando a perda de massa na ordenada e o tempo decorrido na abscissa.

b. Qual é a taxa de formação de gás carbônico, em gramas por minuto, no intervalo de 0 a 4 minutos? E no intervalo de 12 a 16 minutos?

2. Considere o esquema a seguir, que representa a transformação dos reagentes (bolinhas cinza) em produtos (bolinhas vermelhas). 2. alternativa **e**.



Os registros dos cronômetros se referem ao tempo de reação decorrido, em minutos.
(Imagem sem escala; cores-fantasia.)

A taxa média (T_m) da reação de formação do produto, em átomos/min, nos primeiros 20 minutos de reação, foi de:

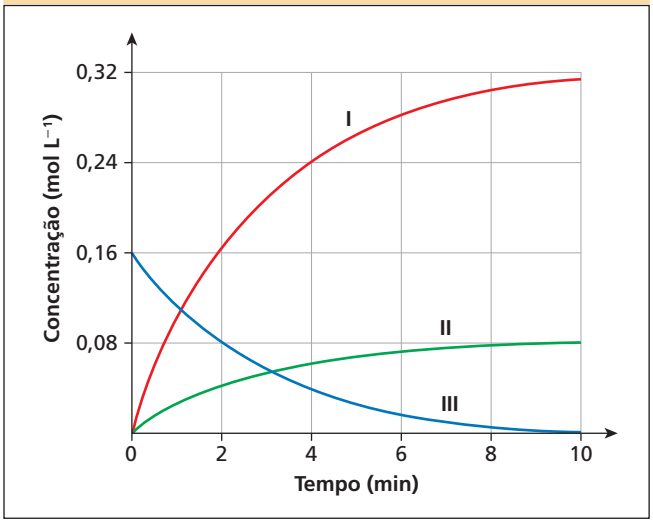
a. 12,6
b. 9,8
c. 7,2
d. 3,6
e. 0,7

3. Considere o gráfico a seguir, que representa a variação das concentrações de reagentes e produtos na reação de composição do pentóxido de dinitrogênio (N_2O_5) em dióxido de nitrogênio (NO_2) e gás oxigênio (O_2).

a. Identifique cada curva com as substâncias participantes da reação.

b. Determine a taxa média da reação de decomposição do pentóxido de dinitrogênio nos primeiros 240 segundos de reação.

Variação das concentrações do reagente e dos produtos na decomposição do N_2O_5



Fonte: MASTERTON, W. L.; HURLEY, C. N.; NETH, E. **Chemistry**: Principles and Reactions. 7th ed. Melbourne: Brooks Cole, 2012.

Representação gráfica da variação das concentrações do reagente e dos produtos na decomposição do N_2O_5 em solução de $CC\ell_4$ a 45 °C.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Modelos explicativos e influência do meio na rapidez de uma reação

Para compreender como é possível alterar a rapidez das reações químicas, precisamos considerar aspectos da dinâmica das partículas envolvidas em uma transformação química e, dessa maneira, formular modelos explicativos que permitam fazer predições para situações análogas. Nesse contexto, temos a teoria das colisões e a teoria do complexo ativado.

Teoria das colisões

No meio reacional, as partículas das espécies químicas estão em movimento e colidem entre si aleatoriamente. Porém, uma parcela dessas colisões é efetiva e leva à transformação química. A colisão precisa ocorrer com orientação espacial adequada e energia cinética – aquela que está relacionada ao movimento das partículas – suficiente para romper as ligações químicas que mantêm unidos os átomos dos reagentes para, então, formar ligações novas, originando os produtos.

Parte das observações experimentais sobre a cinética das reações é explicada pela **teoria das colisões** – estudada em reações em fase gasosa –, que foi proposta de forma independente por dois químicos, o alemão Max Trautz (1880-1960) e o irlandês William Lewis (1885-1956), em 1916 e 1918, respectivamente. Nesse período, seus países de origem estavam envolvidos na Primeira Guerra Mundial, em lados opostos, o que impediu, até o final do conflito, que um conhecesse o trabalho do outro.

Para compreender essa teoria, precisamos analisar dois fatores: a energia cinética e a orientação das partículas.

Energia cinética das partículas

A **energia cinética** das partículas que colidem está relacionada à rapidez com a qual elas se movimentam, de acordo com a equação

$$E_c = \frac{M v^2}{2},$$

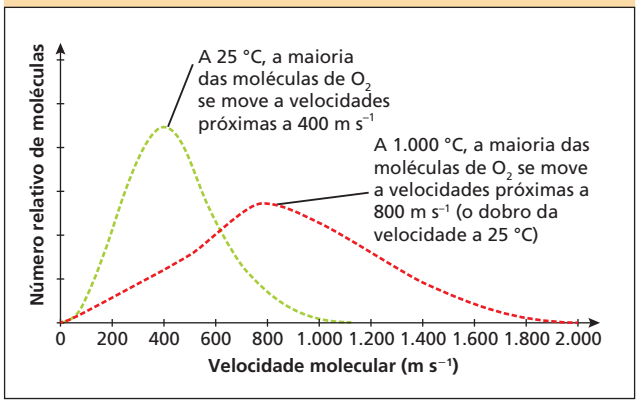
em que E_c é a energia cinética, M é a massa molecular e v é a velocidade.

Neste momento, ressalte que a energia cinética apresentada nesse ponto se deve exclusivamente ao movimento das partículas, não à cinética da reação química, relativa a consumo e produção de substâncias. Enfatize também que as colisões são eventos probabilísticos.

Analisando a equação, podemos afirmar que a energia cinética de uma molécula é diretamente proporcional ao quadrado de sua velocidade. No entanto, como se pode observar no gráfico a seguir, as partículas de uma amostra de substância gasosa não apresentam a mesma rapidez.

Assim, se considerarmos que determinada reação química envolvendo o gás oxigênio (O_2), a 25 °C, só ocorre a partir do choque entre moléculas com velocidade de, no mínimo, 400 m s^{-1}, podemos dizer, com base no gráfico, que cerca de metade das moléculas tem energia cinética suficiente para reagir. No entanto, se o rompimento das ligações químicas entre os átomos de oxigênio ocorrer quando as moléculas apresentarem rapidez superior a 400 m s^{-1}, a probabilidade de ocorrência da reação diminui. Isso pode ser explicado pela menor quantidade de moléculas de gás oxigênio que apresentam rapidez – e, consequentemente, energia cinética – suficiente para que as colisões sejam efetivas. Em temperaturas mais elevadas, o número de moléculas com energia cinética maior também aumenta.

Distribuição da velocidade molecular do O_2 a 25 °C e a 1.000 °C



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em KOTZ, J. C.; TREICHEL, P. M.; WEAVER, G. C. **Química geral e reações químicas**. São Paulo: Cengage Learning, 2011. v. 1.

Representação gráfica da distribuição das velocidades das moléculas de gás oxigênio (O_2) de acordo com a variação da temperatura.

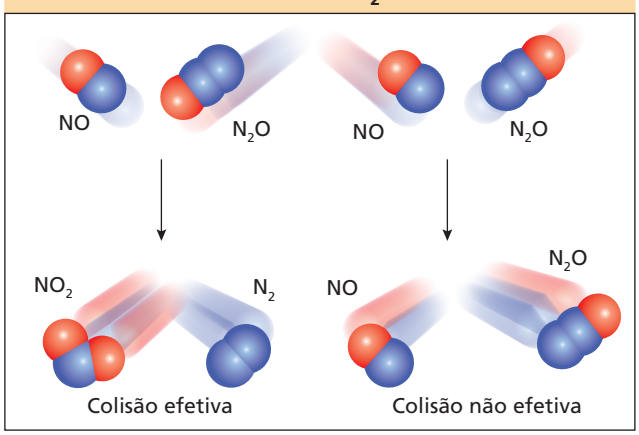
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O modelo representado pela teoria das colisões foi concebido para reações em fase gasosa considerando gases com comportamento ideal – isto é, que estejam em temperatura elevada e baixa pressão e cujas moléculas tenham espaçamento suficiente entre si para tornar as interações intermoleculares desprezíveis e a ocorrência de choques perfeitamente elástica (sem perda de energia cinética). Essas condições tornam a teoria das colisões uma aproximação adequada para previsões acerca de apenas um pequeno número de reações químicas. Outra limitação do modelo é que ele considera as moléculas esferas rígidas, ignorando sua estrutura tridimensional real.

Orientação das partículas

Na década de 1930, o químico mexicano naturalizado estadunidense Henry Eyring (1901-1981), junto a colaboradores, propôs uma teoria que considerava a orientação das partículas no momento da colisão para melhor interpretar resultados experimentais. Para compreender essa teoria, observe o esquema simplificado a seguir, que representa duas possíveis situações de colisão entre as moléculas de N_2O – óxido nitroso – e de NO – óxido nítrico.

Possibilidades de colisão entre moléculas de N_2O e NO



Fonte: elaborado com base em WHITTEN, K. W. *et al*. **Chemistry**. 10th ed. Belmont: Brooks; Cole, 2014.

Representação esquemática da reação química entre os gases N_2O e NO, com base na teoria das colisões. Se as colisões levam à formação dos produtos, elas são chamadas efetivas (à esquerda); caso contrário, são consideradas não efetivas (à direita). (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Para que a reação ocorra, as moléculas dos reagentes devem colidir com a orientação específica para que interajam e os produtos sejam formados. Quanto maior a frequência de colisões entre moléculas, maior a probabilidade de um choque na orientação adequada – ou seja, maior a quantidade de **colisões efetivas** – e, consequentemente, maior a rapidez da reação. Somente as partículas do(s) reagente(s) com energia cinética suficiente e orientação adequada levam à formação do(s) produto(s).

Teoria do complexo ativado

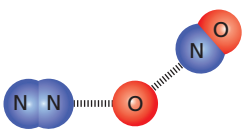
O modelo atômico de Dalton permitiu interpretar as reações químicas como rearranjo dos átomos que formam as substâncias. Desde então, vários modelos foram criados para explicar as ligações químicas entre os átomos e de que maneira elas poderiam ser rompidas e constituídas para permitir o rearranjo desses átomos nas reações.

O rompimento e a formação de ligações ocorrem por meio de transferência de energia, o que, de forma simplificada, depende da força de atração e do número de ligações entre os átomos. A energia trocada na forma de calor durante uma reação química, à pressão constante – como é feito nos laboratórios –, é numericamente igual à variação de uma grandeza denominada **entalpia** (***H***). O balanço entre a energia absorvida e a liberada pela reação indica se ela é endotérmica ou exotérmica.

Entende-se que, para a ocorrência de qualquer transformação química, uma quantidade mínima de energia é necessária para romper ligações químicas nos reagentes, e essa energia depende das substâncias envolvidas. Por exemplo, um pedaço de papel não pega fogo espontaneamente à temperatura ambiente: ele precisa de uma fonte de energia, como a chama de um palito de fósforo, para que possa entrar em combustão. Outro exemplo é a transformação da grafite em diamante; apesar de ser uma conversão possível, ela depende de temperatura em torno de 2.000 °C e pressão em torno de 100.000 atm.

Colisões que não envolvem esse mínimo de energia são consideradas **colisões não efetivas**. Essa barreira energética, que deve ser superada pelos reagentes para que uma reação ocorra, é chamada **energia de ativação** (E_a).

Durante uma reação química, diversas alterações estruturais podem ocorrer até que se forme o produto desejado. Cada arranjo diferente dos átomos demanda determinada quantidade de energia. Segundo o modelo de Eyring e colaboradores, uma dessas estruturas é particularmente importante, porque dela dependeria a formação do produto: é o **complexo ativado**, um estado intermediário entre reagentes e produtos, cuja estrutura apresenta ligações enfraquecidas e novas ligações formadas. Dependendo da energia do complexo ativado, ele pode se transformar nos produtos ou restabelecer os reagentes. Observe a representação a seguir.



Representação do complexo ativado formado na reação entre N_2O e NO. Nessa condição, uma ligação química está sendo rompida enquanto outra está sendo formada, fenômeno indicado aqui pelas linhas tracejadas. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

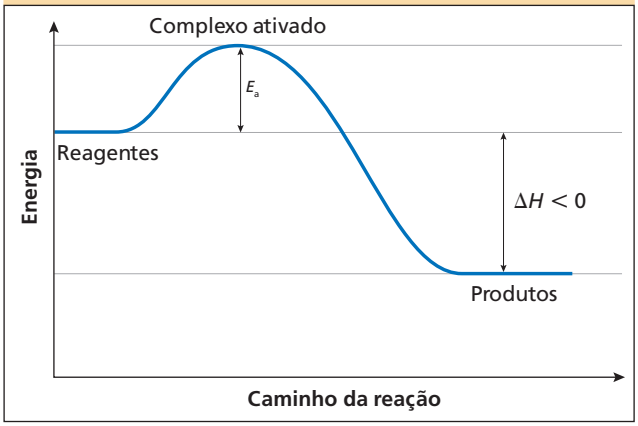
ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA

A energia das diversas estruturas que se formam enquanto uma reação química progride pode ser representada conforme o diagrama a seguir.

Diagrama de energia de uma reação exotérmica



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em PETRUCCI, R. H. *et al*. **General Chemistry**: Principles and Modern Applications. 10th ed. Toronto: Pearson Prentice Hall, 2011.

Representação do diagrama de energia de uma reação exotérmica genérica. Note que, ao final da reação, a energia dos produtos é menor que a dos reagentes.

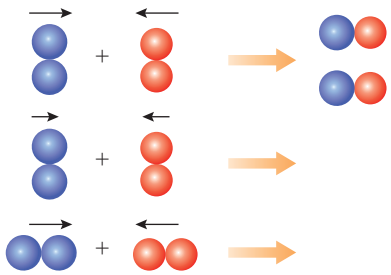
A energia mínima necessária à formação do complexo ativado corresponde à energia de ativação (E_a). A formação do complexo ativado é, portanto, a etapa que determina a rapidez da reação.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

4. Observe os esquemas e, com base na teoria de colisões, apresente uma explicação para o fato de somente a primeira colisão ter resultado na formação do produto. As setas em preto sobre os reagentes indicam a rapidez e o sentido do movimento das partículas; em outras palavras, quanto maior a seta, maior a rapidez.

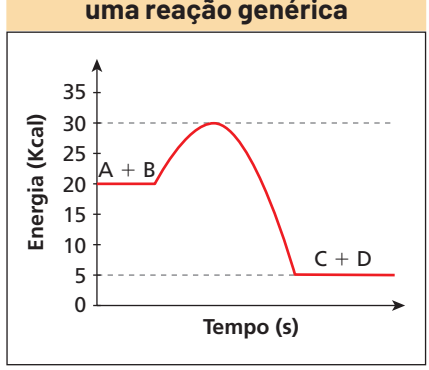


ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

(Imagem sem escala; cores-fantasia.)

5. Considere uma reação genérica do tipo A + B → C + D. O gráfico a seguir mostra a variação da energia (em kcal mol^{-1}) em função do tempo de reação.

Diagrama de energia de uma reação genérica



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Julgue as afirmações a seguir como verdadeiras ou falsas, justificando-as.

I. A reação é exotérmica.

II. A energia de ativação é de 30 kcal.

III. A energia do complexo ativado é de 10 kcal.

IV. A variação de entalpia da reação é de -15 kcal.

5. I. Verdadeira.
II. Falsa.
III. Falsa.
IV. Verdadeira.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Nas quantidades indicadas, os resíduos desta atividade prática podem ser descartados no lixo comum, sem risco ao ambiente.

Registre em seu caderno

NA PRÁTICA Deterioração de alimentos

Ao observar situações relacionadas ao cotidiano, percebemos que alguns fatores influenciam a rapidez com que as transformações químicas ocorrem. Sabemos, por exemplo, que mastigar bem os alimentos facilita a digestão. Que outras formas temos para controlar a taxa de uma reação química? Antes de iniciar a atividade, reúna-se em grupo e leia todo o procedimento.

OBJETIVO

Identificar fatores que influenciam a rapidez das reações químicas na conservação da batata.

MATERIAL

- 1 batata-inglesa grande lavada
- 1 batata-inglesa pequena lavada
- 1 faca
- 1 pinça metálica ou garfo
- Sistema para aquecimento de água ou fogão a gás, aquecedor elétrico ou lamparina
- Recipiente de metal para aquecimento de água ou panela ou leiteira
- 4 béqueres de 300 mL ou copos de vidro transparente
- 2 vidros de relógio grandes ou pratos de vidro
- Água oxigenada 10 volumes
- Água em temperatura ambiente

PREPARE-SE!

As enzimas são de grande interesse na área de conservação de alimentos. Um exemplo é a lipoxigenase, relacionada à rancidez da manteiga. Essa enzima acelera a reação do gás oxigênio com certos lipídios presentes nos alimentos. Levantem hipóteses de como poderíamos interferir na rapidez desse tipo de transformação química.

Com base em suas hipóteses, nos materiais e nos procedimentos experimentais a serem realizados, que fator(es) vocês esperam estudar nesta prática investigativa?

Etapa 1

O sistema de aquecimento pode causar queimaduras, e a faca é cortante. Somente o professor deverá manipulá-los.
A água oxigenada não deve ser ingerida nem inalada. Em caso de contato com os olhos ou a pele, lavar o local com água em abundância.

- A batata-inglesa grande deve ser descascada e cortada em cubos de cerca de 1 cm^3. Separem os cubos de batata em três porções iguais.
- Coloquem no recipiente de metal cerca de 250 mL de água e uma das porções separadas da batata em cubos. Esse sistema deve ser aquecido pelo professor.
- Após 5 minutos do início da ebulição, retirem os cubos de batata com o auxílio de um garfo, colocando-os em um dos vidros de relógio.
- Coloquem 250 mL de água fria e outra porção de batata em cubos em um dos béqueres.
- No outro vidro de relógio, coloquem a última porção da batata.
- Posicionem as três porções lado a lado. Aguardem 40 minutos e anotem as observações.

Etapa 2

- A batata-inglesa menor deve ser descascada e cortada em cubos. Metade dessa quantidade deve ser cozida da mesma forma que na Etapa 1.
- Em três béqueres, coloquem a água oxigenada até que o líquido alcance a altura de 5 cm. Em um deles, coloquem também os cubos de batata que não foram cozidos.
- Coloquem no segundo béquer os cubos de batata que estavam na água fervente, deixando o terceiro copo apenas com a água oxigenada.
- Observem e anotem as transformações ocorridas nos três béqueres.

Fonte: elaborado com base em AFONSO, J. C. *et al*. Atividades experimentais simples para o entendimento de conceitos de cinética enzimática: *Solanum tuberosum* – uma alternativa versátil. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 35, n. 1, 2013. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc35_1/05-RSA-104-11.pdf. Acesso em: 17 set. 2024.

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. Qual é o indício visível de transformação química na batata? Como é possível relacionar essa transformação à deterioração do alimento?
2. Expliquem o que ocorre nos procedimentos e quais fatores influenciam a rapidez das reações em cada caso. Os fatores avaliados nos procedimentos foram os mesmos apontados antes de realizá-los?
3. Algumas pessoas têm o hábito de, após descascar a batata ou o aipim, manter esses alimentos na água antes do preparo. Expliquem essa prática do ponto de vista químico.
4. Listem os alimentos não industrializados que geralmente estão presentes na dieta de vocês. Quais deles passam por algum tipo de método de conservação? Quais estragam mais rapidamente?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

OBJETO DIGITAL
Infográfico clicável: Pasteurização na conservação de alimentos

Fatores que influenciam a rapidez da reação

Conforme apresentado anteriormente, cada reação química tem uma taxa que se relaciona principalmente à energia de ativação: de maneira geral, observa-se que, quanto mais elevada for a energia de ativação de uma reação, menor será a sua taxa de conversão de reagentes em produtos. No entanto, certos fatores têm a capacidade de modificar esse cenário, possibilitando a aceleração ou o retardamento das reações químicas. Esses fatores serão objeto de estudo na sequência deste tópico.

Efeito da concentração

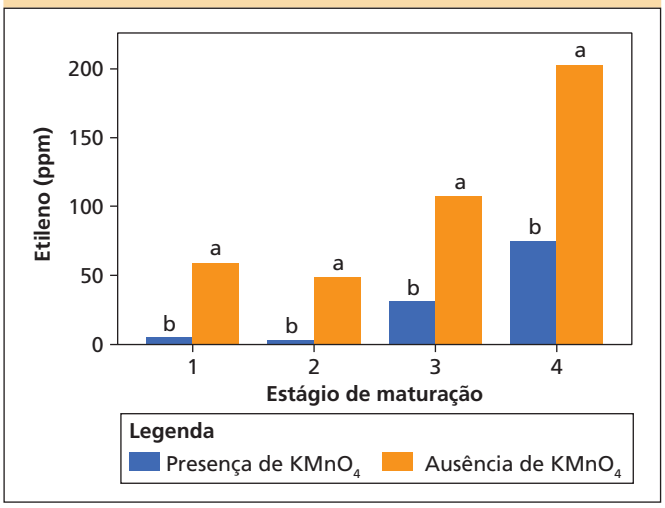
Como se pôde observar pelos dados apresentados no início do capítulo, a taxa de decomposição do peróxido de hidrogênio e de formação de água e gás oxigênio não é linear, ou seja, a rapidez da reação diminui com o tempo. Em outras palavras, a reação fica mais lenta conforme a concentração de peróxido de hidrogênio no sistema se reduz. No caso dessa reação, esse fato pode ser explicado considerando que, quanto maior o número de partículas do reagente, maior a probabilidade de colisões efetivas entre elas e, consequentemente, mais rápida é a reação.

É importante ressaltar, porém, que a alteração da concentração dos reagentes não apresenta o mesmo efeito sobre a rapidez de todas as reações e, portanto, é necessário determiná-lo experimentalmente.

Um exemplo ilustrativo do efeito da concentração na rapidez das reações químicas é o amadurecimento de algumas frutas. Durante a época da colheita de uma fruta, sua oferta aumenta, o que diminui seu preço no mercado. Já as frutas fora de época são mais raras e, geralmente, mais caras. Para reduzir essas oscilações de preço, manter o consumo e evitar o desperdício, utiliza-se, na indústria, o gás etileno (ou eteno, C_2H_4), um hormônio produzido pelas frutas e responsável pelo controle de seu crescimento e sua maturação. Nesse processo, as frutas são armazenadas em câmaras nas quais se pode adicionar gás etileno ou retirá-lo, podendo gerar aumento ou diminuição da taxa de amadurecimento, respectivamente. O processo inverso também pode ser realizado, utilizando-se o composto 1-metilciclopropeno (1-MCP), que retarda as reações de amadurecimento, conservando as frutas por mais tempo. Outra opção utilizada para retardar o amadurecimento das frutas são sachês de permanganato de potássio ($KMnO_4$), adicionados à caixa de fruta que será comercializada. Esse sal reage com o gás etileno, reduzindo sua concentração dentro da embalagem e, assim, retardando o amadurecimento da fruta, o que permite sua conservação por mais tempo e até sua exportação.

O gráfico a seguir mostra os resultados de experimentos comparativos do estágio de maturação de frutas com e sem a presença de permanganato de potássio.

Concentração de etileno em maçãs em diferentes estágios de maturação



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: AMARANTE, C. V. T.; STEFFENS, C. A. Sachês absorvedores de etileno na pós- colheita de maçãs "royal gala". **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 31, n. 1, p. 71- 77, mar. 2009. Disponível em: http://www.scielo.br/pdf/rbf/v31n1/v31n1a11.pdf. Acesso em: 29 jun. 2024.

Gráfico que compara os estágios de crescimento de maçãs do tipo royal gala na presença e na ausência de permanganato de potássio ($KMnO_4$), um agente oxidante que reage com o etileno produzido pelas frutas.

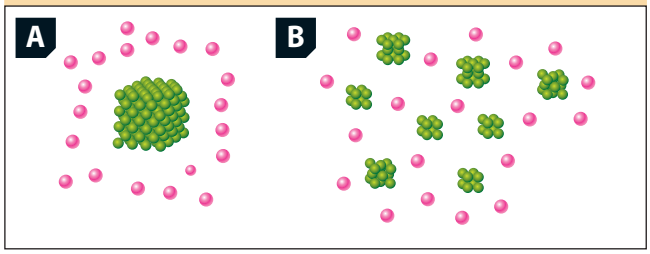
Note que, em todos os estágios de maturação, houve redução significativa de etileno na presença de $KMnO_4$. Isso ocorre porque o permanganato de potássio oxida o etileno liberado pela fruta, retardando seu processo de amadurecimento.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Efeito da superfície de contato

Outra maneira de aumentar a rapidez de uma reação é usar reagentes em formas menos compactas (divididos em pedaços, em pó ou mesmo dissolvidos). Isso aumenta a superfície de contato entre os reagentes e, consequentemente, a frequência de colisões entre as espécies químicas envolvidas na reação, como representado a seguir. A mastigação dos alimentos fragmenta-os em pedaços menores, o que aumenta a superfície de contato e torna mais rápidas as reações químicas que ocorrem durante a digestão, facilitando a absorção dos nutrientes.

Interação de reagentes com tamanhos diferentes



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática do contato entre dois reagentes – um deles em fase gasosa (esferas cor-de-rosa), outro em fase sólida (esferas verdes). Nas duas situações **(A)** e **(B)**, o contato ocorre com as partículas mais externas (superficiais) do sólido. Em **(B)**, com a divisão do sólido em pedaços menores, mais partículas ficam expostas, o que aumenta a probabilidade de ocorrerem colisões efetivas com as partículas do gás (Imagens sem escala; cores-fantasia.).

Outro exemplo desse fator envolvendo alimentos é em relação à carne moída. Quando comparada com a carne inteira, ela apresenta maior superfície de contato, o que aumenta a possibilidade de contaminação microbiológica e o risco de infeções e intoxicações alimentares.

No Brasil, conforme a Portaria nº 664 do Ministério da Agricultura e Pecuária, de novembro de 2022, a carne moída deve ser embalada imediatamente após a moagem e cada pacote deve ter, no máximo, 1 kg de massa. Além disso, ela deve ser mantida entre 0 °C e 4 °C, pois a temperatura também é um aspecto importante na taxa de degradação da carne, conforme vamos tratar na sequência.

GERENME/ISTOCK/GETTY IMAGES

A carne é um produto perecível, principalmente na forma moída, pois sua superfície de contato é maior que a forma inteira.

Efeito da temperatura

A influência da temperatura na rapidez de uma reação química pode ser verificada em situações do cotidiano. Por exemplo, o cozimento dos alimentos pode ser acelerado pelo aumento da temperatura, enquanto as reações de amadurecimento de frutas podem ser retardadas guardando esses alimentos na geladeira. Em contrapartida, o aumento da temperatura também pode diminuir o valor nutricional dos alimentos, pois aumenta a rapidez da degradação de vitaminas, principalmente em vegetais.

O aumento da temperatura de um sistema reacional corresponde à elevação da energia cinética média das partículas que constituem um sistema. Com as partículas movendo-se em maior velocidade, ocorrem mais colisões, aumentando a probabilidade de colisões efetivas e, consequentemente, tornando a reação mais rápida. No entanto, a extensão da dependência da taxa de reação com a temperatura do sistema é diferente para cada transformação química.

O primeiro cientista a estudar a influência da temperatura sobre a taxa das reações químicas foi Jacobus van't Hoff (1852-1911), o químico neerlandês que também foi o primeiro cientista a ganhar o Prêmio Nobel de Química. Em seu trabalho publicado no final do século XIX, ele chegou à regra empírica de que um aumento de 10 °C na temperatura em que uma reação química ocorre faz com que a taxa da reação dobre. Apesar de não ser válida para todas as reações, é uma possível aproximação para estimar a influência da temperatura na rapidez das reações químicas. É importante ressaltar que, de maneira geral, a alteração na temperatura não afeta o valor da energia de ativação das reações.

Efeito do catalisador

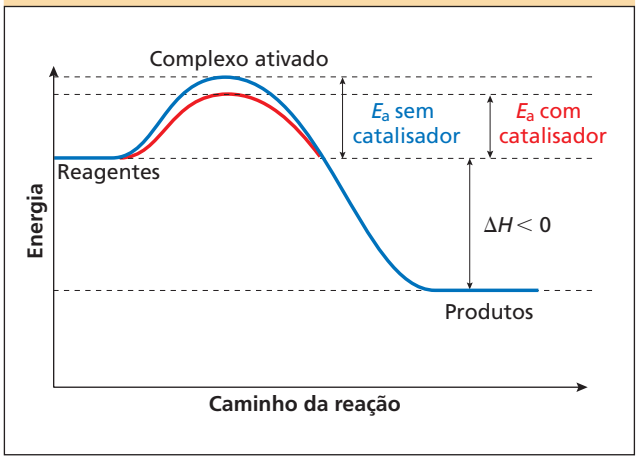
Uma maneira de aumentar a rapidez de uma reação química é usando **catalisadores**. Eles são espécies químicas que aumentam a rapidez de uma reação sem, no entanto, serem consumidos efetivamente ao seu término.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Um catalisador age modificando a forma de interação entre os reagentes e possibilita que a reação ocorra por outro mecanismo, que exige uma energia de ativação menor que a reação sem catalisador. Isso garante que mais espécies químicas tenham energia suficiente para alcançar a energia de ativação da reação.

No diagrama de energia a seguir, a curva em vermelho representa a alteração do caminho da reação em consequência da presença do catalisador. Note que a variação de entalpia (ΔH) para a reação catalisada é a mesma que a do processo sem catalisador. Isso ocorre porque os estados inicial e final do sistema não são alterados pelo catalisador; apenas o mecanismo pelo qual a reação ocorre passa por alteração, isto é, a energia necessária para a formação do complexo ativado diminui.

Diagrama de energia para uma reação exotérmica genérica com e sem o uso de catalisador



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Diagrama de uma reação exotérmica genérica com (linha vermelha) e sem (linha azul) a presença de um catalisador. Note que a variação de entalpia da reação não é alterada.

Os catalisadores estão presentes em muitos processos, tanto industriais quanto biológicos. Um exemplo de uso na indústria alimentícia é a conversão da glicose em frutose, principal etapa da produção do xarope de milho com elevado teor de frutose.

Enzimas

As enzimas (do grego *en*, "em"; *zyme*, "levedura") são catalisadores biológicos fundamentais para o metabolismo dos seres vivos, desde os mais simples até os multicelulares. Sem elas, muitas das reações químicas que ocorrem nos organismos seriam lentas, comprometendo seu funcionamento. Uma característica importante das enzimas é que elas são seletivas quanto às reações que catalisam.

Esses catalisadores biológicos são empregados desde a Antiguidade. Nas bebidas obtidas de cereais fermentados e na produção de pães e queijos, eles garantem o aproveitamento de nutrientes por mais tempo. Isso ocorre porque os microrganismos que produzem as enzimas responsáveis pela fermentação competem por nutrientes com outros microrganismos, capazes de deteriorar o alimento, inibindo sua proliferação. Além disso, os metabólitos microbianos (ou seja, os produtos da fermentação que acidificam o meio) também limitam o crescimento da população de microrganismos no alimento.

Entretanto, há momentos em que a fermentação e a ação de outros microrganismos não são desejadas. Para controlar esse processo, foi desenvolvido um método, com base em pesquisas científicas realizadas pelo químico francês Louis Pasteur (1822-1895), que recebeu o nome de **pasteurização**. Esse método, empregado até hoje, consiste em controlar a população de microrganismos em determinado estágio da fermentação de uma bebida, por exemplo, submetendo-a a um aquecimento seguido de um rápido resfriamento, o que destrói parte dos microrganismos e ajuda a manter o alimento próprio para o consumo por mais tempo, sem alterar sua qualidade.

ZIGA PLAHUTAR/E+/GETTY IMAGES

O leite é um dos principais produtos beneficiados pelo processo de pasteurização.

Quando uma enzima é exposta a altas temperaturas ou a valores extremos de pH, pode ter sua estrutura tridimensional proteica alterada de modo que perca toda a sua atividade catalítica ou parte dela; esse processo denomina-se **desnaturação**.

Um dos principais problemas da indústria alimentícia é a reação de escurecimento em frutas e vegetais graças à enzima polifenoloxidase. Uma das maneiras mais comuns de diminuir a atividade dessa enzima é provocando sua desnaturação pelo emprego de ácido cítrico e ácido ascórbico (vitamina C), presentes em frutas como o limão e a laranja. As condições ótimas para a atuação dessa enzima são pH entre 6 e 7 e temperatura entre 20 °C e 30 °C. Assim, em pH abaixo de 3 e após o cozimento, ela é desnaturada.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

6. Por que as explosões em minas de carvão, onde há material combustível particulado no ar, são tão comuns, enquanto muitas vezes é difícil atear fogo no carvão comumente utilizado em churrasqueiras?

7. Um dos grandes desafios da culinária é cortar cebolas sem chorar. As lágrimas surgem quando sulfóxidos inofensivos das cebolas interagem sucessivamente com duas enzimas, a alinase e a sintase do fator lacrimogênio, desprendidas das células do vegetal somente quando estas últimas são rompidas pela lâmina da faca. Como resultado, há liberação de propanotial-S-óxido, composto volátil que, dissolvido no meio aquoso dos olhos, forma substâncias de caráter ácido, como o ácido sulfúrico e o sulfeto de hidrogênio, os verdadeiros responsáveis pela irritação dos olhos e consequente formação de lágrimas. A sabedoria popular sugere algumas atitudes que não têm explicação científica para evitar as lágrimas enquanto descascamos cebolas, como "morder um fósforo de madeira ou deixar a água da torneira aberta". Robert L. Wolke, em seu livro *O que Einstein disse a seu cozinheiro* (Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2005. v. 2. p. 98-99), dá duas dicas (que realmente funcionam) para evitar o lacrimejamento:

- levar as cebolas à geladeira por cerca de 2 horas antes de cortá-las;
- aprender a cortar, com uma faca bem afiada, a cebola em cubos com a rapidez e a eficiência dos *chefs*.

A respeito dessas dicas, são feitas as seguintes afirmações: 7. Alternativa **a**.

I. A baixa temperatura ajuda a reduzir a taxa (rapidez) de interação entre os sulfóxidos e as enzimas, diminuindo a intensidade da produção das substâncias voláteis irritantes.

II. Cortar rapidamente a cebola com uma faca afiada evita que muitas moléculas de sulfóxidos sejam quebradas pela lâmina em moléculas mais leves e voláteis.

III. A enzima é um catalisador biológico, e sua intensidade e atuação dependem somente da concentração de substrato.

Das afirmações apresentadas, está(ão) correta(s):

a. Apenas I.
b. I e II.
c. Apenas II.
d. I e III.
e. I, II e III.

8. A água oxigenada é uma solução aquosa de peróxido de hidrogênio (H_2O_2). Esse peróxido tende, com o passar o tempo, a passar por decomposição, produzindo água e gás oxigênio. À temperatura e à pressão ambientes, essa decomposição é muito lenta. Porém, a luz pode ser um catalisador dessa reação, e, por isso, a água oxigenada é vendida sempre em frascos opacos para evitar sua decomposição prematura. A reação de decomposição do peróxido de hidrogênio pode ser representada pela seguinte equação química:

$$H_2O_2(aq) \rightarrow H_2O(\ell) + \frac{1}{2}\,O_2(g)$$

Considere o gráfico a seguir com duas curvas, I e II, representando a decomposição do H_2O_2 com e sem catalisador, não necessariamente nessa ordem.

Diagrama de energia da decomposição do H_2O_2

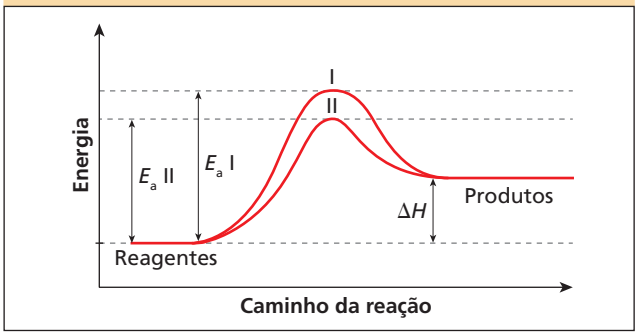


Diagrama de energia da decomposição do H_2O_2 em água e gás oxigênio, com e sem a presença de catalisador.

Com base nesse gráfico, são feitas as seguintes afirmações:

I. A curva II refere-se à reação catalisada e a curva I refere-se à reação não catalisada.

II. Se a reação se processar pelo caminho II, ela será mais rápida.

III. A adição de um catalisador à reação diminui o ΔH da reação.

IV. A adição do catalisador transforma a reação endotérmica em exotérmica.

Estão corretas: 8. Alternativa **a**.

a. I e II.
b. II e III.
c. III e IV.
d. I e IV.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Lei cinética

Conforme tratado anteriormente, há estreita relação entre a concentração de um reagente e a rapidez da reação envolvida. Mas será que ao dobrar a concentração dos reagentes a rapidez da reação também duplicará?

A primeira relação quantitativa entre taxa de reação e concentração dos reagentes foi desenvolvida em 1850 pelo químico alemão Ludwig F. Wilhelmy (1812-1864), com base em seus estudos a respeito da hidrólise da sacarose catalisada por ácidos. Algumas décadas depois, van't Hoff estendeu e generalizou a análise matemática do progresso de uma transformação química que tinha sido realizada anteriormente por Wilhelmy e outros.

Na sequência do capítulo, vamos desenvolver essas análises matemáticas da rapidez das reações químicas que permitem relacionar a variação da concentração com a variação da rapidez de uma reação química.

Taxa inicial de reação e lei cinética

A variação de concentração de um ou mais reagentes pode alterar a rapidez da reação. Por isso, para compará-la em diversas concentrações, utiliza-se a **taxa inicial de reação**, determinada experimentalmente no instante em que praticamente não houve consumo de reagente e, consequentemente, pouco produto foi formado. A rapidez de uma reação química pode ser considerada inicial se o consumo de reagente for de 1% a 2%. O exemplo a seguir mostra a reação de decomposição do pentóxido de dinitrogênio (N_2O_5) em dióxido de nitrogênio (NO_2) e gás oxigênio (O_2), a 65 °C e pressão constante, conforme a equação química a seguir:

$$2\ N_2O_5(g) \rightarrow 4\ NO_2(g) + O_2(g)$$

Os resultados para a taxa inicial (T_i) dessa reação são apresentados na tabela a seguir.

T_i de consumo de N_2O_5 em diversas concentrações

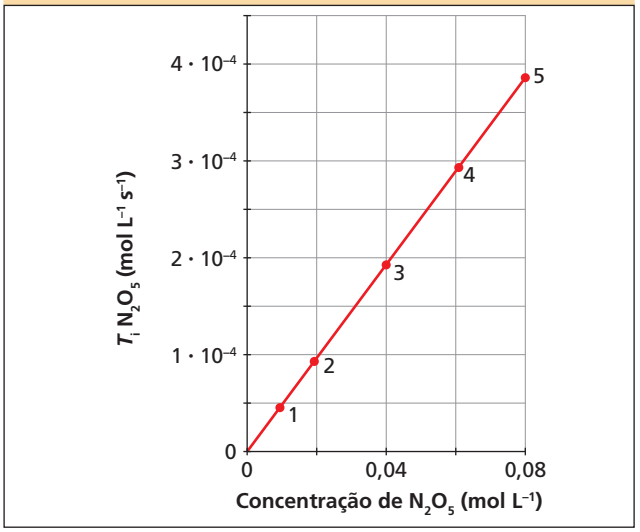
Experimento	$[N_2O_5]$ (mol L^{-1})	T_i (mol L^{-1} s^{-1})
1	0,01	$4{,}5 \cdot 10^{-5}$
2	0,02	$9{,}0 \cdot 10^{-5}$
3	0,04	$1{,}9 \cdot 10^{-4}$
4	0,06	$2{,}8 \cdot 10^{-4}$
5	0,08	$3{,}8 \cdot 10^{-4}$

Fonte: ATKINS, P.; JONES, L. **Princípios de Química**: questionando a vida moderna e o meio ambiente. Tradução: Ricardo Bicca de Alencastro. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

Dados referentes à decomposição do pentóxido de dinitrogênio a 65 °C e pressão constante.

Com base nesses resultados, pode-se construir um novo gráfico de rapidez inicial de consumo do reagente em função de sua concentração:

Rapidez inicial de reação em função da concentração de N_2O_5



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: ATKINS, P.; JONES, L. **Princípios de Química**: questionando a vida moderna e o meio ambiente. Tradução: Ricardo Bicca de Alencastro. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

Variação da taxa inicial da reação em função da $[N_2O_5]$, a 65 °C e pressão constante.

Observa-se que o gráfico resulta em uma reta ascendente que indica que a rapidez é diretamente proporcional à concentração de N_2O_5, ou seja, quando há aumento da concentração de reagentes, há também aumento na taxa inicial da reação. Matematicamente, tem-se:

$$T_i(N_2O_5) \sim [N_2O_5] \text{ ou } T_i(N_2O_5) = k[N_2O_5]$$

Essa equação química é denominada **lei cinética da reação**. Nela, k é a **constante de proporcionalidade** ou **constante cinética da reação**. Cada reação tem a própria lei cinética e a própria constante cinética, e o valor da constante independe da concentração, mas depende da temperatura.

De modo genérico, a lei cinética pode ser escrita da seguinte forma:

$$a\ A + b\ B \rightarrow c\ C + d\ D \qquad T_i = k[A]^{\alpha}[B]^{\beta}$$

Assim como o valor da constante cinética, k, os valores α e β são determinados experimentalmente. Esses expoentes mostram as relações existentes entre a concentração de reagentes e a rapidez da reação.

Ordem de reação

A lei cinética de uma reação química depende da análise matemática de resultados experimentais para determinar os expoentes da concentração dos reagentes, denominados **ordem de reação**, que, em muitos casos, são tabelados e podem ser encontrados em obras de referência.

A ordem de reação pode ser obtida a partir dos resultados da taxa inicial das reações. Vamos analisar o exemplo da decomposição do NO_2 formando NO e O_2 na tabela a seguir. Entre os experimentos 1 e 2, a duplicação na concentração do reagente levou ao aumento de quatro vezes na taxa inicial da reação. Já analisando os experimentos

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

2 e 3, verificamos que ao dobrar a concentração do reagente ocorre um aumento de 4,1 vezes na taxa inicial da reação. Embora haja variação, ela pode ser atribuída a desvios inerentes ao método adotado no experimento.

Pode-se escrever essa relação entre o **fator de aumento da concentração** (f_c) e o **fator de aumento da taxa inicial da reação** (f_v) como:

$$f_c^{\alpha} = f_v$$

em que α é o expoente que mantém essa igualdade e que corresponde à ordem de reação de um dos reagentes ou de um dos produtos na lei cinética. Para o NO_2:

$$2^{\alpha} = 4 \Rightarrow 2^{\alpha} = 2^2 \Rightarrow \alpha = 2$$

Fator de aumento da concentração de NO_2 (f_c) e da taxa inicial (f_v)

Experimento	$[NO_2]$ (mol L^{-1})	f_c	Taxa inicial (mol L^{-1} s^{-1})	f_v
1	0,02		$2{,}1 \cdot 10^{-4}$	
2	0,04	2	$8{,}2 \cdot 10^{-4}$	4
3	0,08	2	$3{,}4 \cdot 10^{-3}$	4,1
4	0,10		$5{,}3 \cdot 10^{-3}$	

Fonte: ATKINS, P.; JONES, L. **Princípios de Química**: questionando a vida moderna e o meio ambiente. Tradução: Ricardo Bicca de Alencastro. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

A reação é de segunda ordem em relação ao reagente, descrita pela seguinte lei cinética:

$$T_i(NO_2) = k[NO_2]^2$$

As reações estudadas até agora apresentam apenas um reagente dando origem aos produtos. Entretanto, para determinar a lei cinética e a ordem de reação quando mais de um reagente está presente, é preciso considerar todos eles, aplicando-se o mesmo raciocínio apresentado na tabela anterior. Para reações em que mais de um reagente aparece na lei cinética, deve-se somar todos os expoentes para determinar a ordem global da reação. Por exemplo, a reação $2\,NO(g) + O_2(g) \rightarrow 2\,NO_2(g)$ apresenta lei cinética $v = k[NO]^2[O_2]$; portanto, a ordem global de reação é: $2 + 1 = 3$, ou seja, a reação é de terceira ordem.

As etapas de uma reação

Enfatize que a probabilidade de mais de três espécies colidirem com energia suficiente e orientação adequada é muito pequena.

Os dados empíricos da taxa de uma reação química auxiliam na descrição de como elas ocorrem em nível molecular. Em geral, as reações se processam em várias etapas sucessivas, em que cada uma é denominada **processo elementar** ou **reação elementar**. Cada reação elementar é um evento diferente que envolve a colisão de partículas. O conjunto de processos elementares que descreve uma reação química é chamado **mecanismo de reação**.

Observe, por exemplo, a equação química a seguir, que representa a reação entre os gases dióxido de nitrogênio e monóxido de carbono.

$$NO_2(g) + CO(g) \rightarrow NO(g) + CO_2(g)$$

Embora vários mecanismos possam ser propostos para uma mesma reação, medidas experimentais de rapidez podem ser usadas para identificar os mais prováveis. Considere o seguinte mecanismo proposto para a reação anterior:

Etapa 1 (lenta): $NO_2 + NO_2 \rightarrow NO_3 + NO$

Etapa 2 (rápida): $NO_3 + CO \rightarrow NO_2 + CO_2$

Equação global: $NO_2(g) + CO(g) \rightarrow NO(g) + CO_2(g)$

O mecanismo proposto envolve duas etapas elementares. Dados experimentais mostram que a etapa 1 apresenta maior energia de ativação que a etapa 2. Isso faz com que a etapa 1 influencie de maneira decisiva a rapidez da reação global, pois ela determina a taxa de formação da espécie intermediária (NO_3), fundamental para que a etapa 2 ocorra. Nessas condições, mesmo que a etapa 2 ocorra mais rapidamente, a etapa 1 continua sendo limitante da rapidez da reação global.

Note que escrevemos a equação química da reação elementar 1 repetindo a fórmula do NO_2, em vez de escrever $2\,NO_2$, como comumente fazemos nas reações globais.

Os dados que permitiram a proposição do mecanismo para a reação entre NO_2 e CO relacionam-se a duas informações importantes da lei cinética para essa reação. A primeira é que a rapidez é determinada pela etapa lenta, que só depende do NO_2 (mesmo que CO seja um reagente na reação global, sua concentração não influencia na rapidez da reação química). A segunda é que o expoente relativo à concentração de NO_2 na lei cinética é igual ao número de moléculas que reagem nessa etapa; no caso, duas moléculas de NO_2.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

9. O ar atmosférico despoluído e seco é constituído predominantemente por uma substância chamada gás nitrogênio (N_2). Ela é pouco reativa, praticamente inerte. No entanto, quando o ar atmosférico vai até o interior de um motor de combustão, essa substância pode reagir com o gás oxigênio do ar, produzindo monóxido de nitrogênio (NO). Este último, na atmosfera, combina-se facilmente com O_2, formando o dióxido de nitrogênio (NO_2). A cinética desta última reação (transformação do monóxido em dióxido de nitrogênio) foi estudada experimentalmente e os dados estão relacionados no quadro a seguir:

[NO] mol · L^{-1}	[O_2] mol · L^{-1}	Taxa inicial (T_i) mol · L^{-1} · s^{-1}
0,02	0,02	$2 \cdot 10^{-4}$
0,04	0,02	$8 \cdot 10^{-4}$
0,02	0,04	$4 \cdot 10^{-4}$

Analise as afirmações:

I. Dobrando apenas a concentração de O_2, a taxa da reação duplica.

II. A equação química para a lei de ação das massas da reação é $T_i = k\,[NO]^2[O_2]$.

III. Dobrando simultaneamente as concentrações de NO e O_2, a taxa inicial da reação fica oito vezes maior.

Está(ao) correta(s): 9. Alternativa **b**.

a. I e II.

b. I, II e III.

c. I e III.

d. II.

10. Em um estudo envolvendo a produção de pão, foi feita uma montagem experimental com três garrafas PET de 600 mL cada uma contendo diferentes quantidades de açúcar. Em uma delas foram adicionadas três colheres de fermento biológico (levedura). Nas outras, seis e nove colheres de fermento biológico, respectivamente. Em seguida, foi acrescentada em todas as garrafas água morna equivalente a aproximadamente dois terços de seus volumes. Após a homogeneização, acoplou-se um balão de borracha na saída das garrafas e iniciou-se a contagem do tempo necessário para inflar o balão. Os dados obtidos com esses experimentos estão presentes na tabela a seguir.

Registro dos dados experimentais

Ensaio	Quantidade de açúcar (colheres de chá)	Quantidade de levedura (colheres de chá)	Tempo para inflar o balão (minutos e segundos)
1	½	3	31′ 10″ ± 41″
2	1	3	15′ 23″ ± 29″
3	2	3	15′ 18″ ± 34″
4	1	6	8′ 05″ ± 19″
5	1	9	5′ 13″ ± 15″

Fonte: VENQUIARUTO, L. D. *et al*. Saberes populares fazendo-se saberes escolares: um estudo envolvendo a produção artesanal do pão. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 33, n. 3, ago. 2011.

Obs.: ± indica a margem de erro da medida.

Se considerarmos que a formação do dióxido de carbono que infla o balão depende das concentrações somente do açúcar e da levedura, a expressão da lei de ação das massas da reação pode ser expressa pela equação química a seguir:

$$T_i = k \cdot [\text{açúcar}]^a \cdot [\text{levedura}]^b$$

Com base na análise dos dados, são feitas as seguintes afirmações: 10. Alternativa **d**.

I. Analisando os ensaios 1 e 2, observa-se que a reação é de segunda ordem em relação ao açúcar.

II. Analisando os ensaios 2 e 5, observa-se que, ao triplicarmos a quantidade de levedura, a rapidez da reação também triplica, sendo possível concluir que a reação é de primeira ordem em relação à levedura.

III. Observa-se que, com a adição de mais de uma colher de açúcar, a rapidez da reação passa a ser independente da massa desse reagente. Isso pode ser explicado pela saturação do açúcar em água.

Está(ão) correta(s):

a. Apenas a II.

b. Apenas a III.

c. I e II, somente.

d. II e III, somente.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADES DE FECHAMENTO

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. Classifique as transformações químicas listadas a seguir de acordo com sua rapidez. Para isso, use as expressões "reação lenta", "reação intermediária" e "reação rápida". Indique em que você se baseou para fazer sua classificação.

I. Combustão do álcool etílico.

II. Amadurecimento de frutas.

III. Fossilização de restos de plantas primitivas.

2. Em uma reação entre O_3 e NO para formar os gases O_2 e NO_2, estima-se que cada molécula colide 1 bilhão de vezes por segundo com outras moléculas. Embora seja um elevado número de colisões, a reação não ocorre de forma rápida. Com base na teoria das colisões, proponha uma explicação para o que ocorre nessa reação.

3. Alternativa **a**.

3. (UCB-DF) Medicamentos e alimentos perecíveis são comercializados com datas de validade, isto é, com um marco limite de consumo daquele material, de modo a não produzir nenhum efeito nocivo à saúde do consumidor. Essas datas de validade são produzidas por modelos associados à Cinética Química.

Acerca das velocidades das reações químicas e os respectivos modelos, indique a alternativa correta.

a. Reagentes com maior superfície de contato tendem a reagir mais rapidamente, quando comparados àqueles de menor superfície de contato.

b. Todos os choques entre reagentes levam a reações.

c. A diminuição da temperatura abaixa a energia de ativação das reações, reduzindo a velocidade das reações.

d. Um alimento perecível pode ser armazenado por um tempo indefinido no *freezer* doméstico, sem perder as respectivas propriedades.

e. Um medicamento pode ter a respectiva data de validade aumentada, se tal material for acondicionado em lugar com temperatura elevada.

4. (UFRJ) Logo após a colheita, os grãos de milho apresentam sabor adocicado, devido à presença de grandes quantidades de açúcar em seu interior. O milho estocado e vendido nos mercados não tem mais esse sabor, pois cerca de metade do açúcar já foi convertida em amido por meio de reações enzimáticas. No entanto, se o milho for, logo após a colheita, mergulhado em água fervente, resfriado e mantido num congelador, o sabor adocicado é preservado.

Por que esse procedimento preserva o sabor adocicado dos grãos de milho?

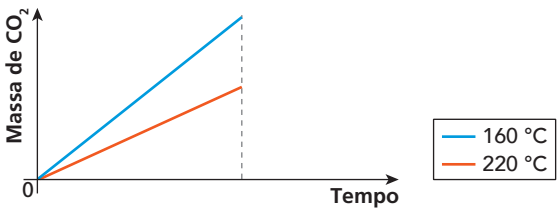
5. (Uerj) No preparo de pães e bolos, é comum o emprego de fermentos químicos, que agem liberando gás carbônico, responsável pelo crescimento da massa. Um dos principais compostos desses fermentos é o bicarbonato de sódio, que se decompõe sob a ação do calor, de acordo com a seguinte equação química:

$$2\ NaHCO_3(s) \rightarrow Na_2CO_3(s) + H_2O(g) + CO_2(g)$$

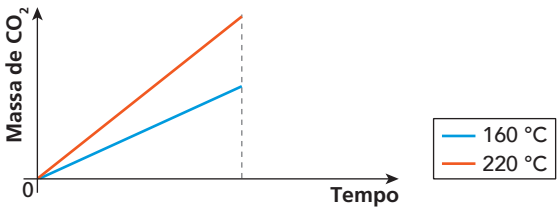
Considere o preparo de dois bolos com as mesmas quantidades de ingredientes e sob as mesmas condições, diferindo apenas na temperatura do forno: um foi cozido a 160 °C e o outro a 220 °C. Em ambos, todo o fermento foi consumido.

O gráfico que relaciona a massa de CO_2 formada em função do tempo de cozimento, em cada uma dessas temperaturas de preparo, está apresentado em: 5. Alternativa **d**.

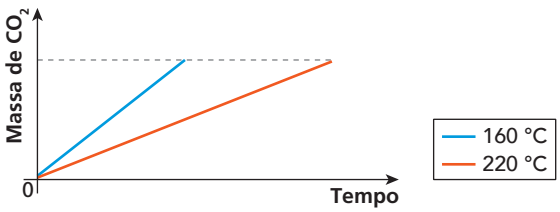
a.



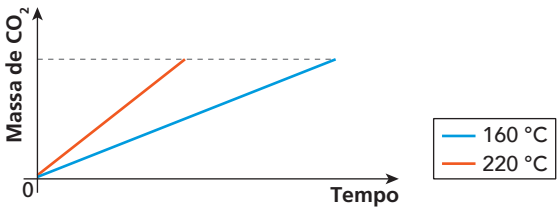
b.



c.



d.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

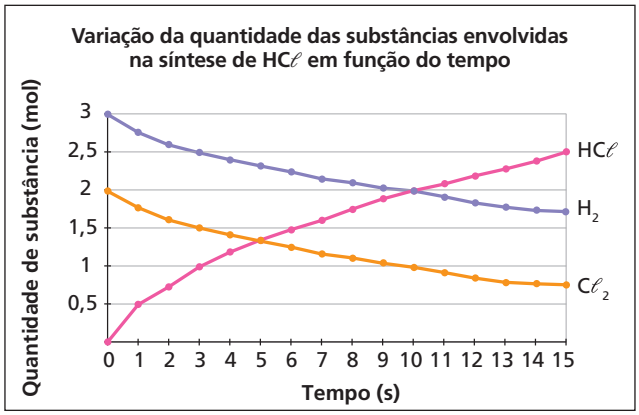
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Continua

6. Na bula de um medicamento está especificado que, sob orientação médica, ele pode ser administrado de duas formas: em comprimido ou em pó para ser dissolvido em água. Com base no que foi estudado, discuta possíveis diferenças na disponibilidade desse medicamento no organismo e na rapidez de seus efeitos em função de suas formas de administração.

7. Analise o gráfico e responda ao que se pede.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA



Representação gráfica da variação, em função do tempo, da quantidade das substâncias HCℓ, H_2 e $C\ell_2$, envolvidas na síntese do ácido clorídrico.

a. Qual é a taxa média de formação do cloreto de hidrogênio nos primeiros 3 segundos da reação?

b. Supondo que a taxa de formação de cloreto de hidrogênio calculada no item **a** se mantenha ao longo de toda a reação e que haja reagentes suficientes, faça uma previsão da quantidade de HCℓ obtida após 15 segundos de reação.

c. Compare o valor obtido no item **b** com os dados do gráfico. Discuta as diferenças e proponha uma explicação.

8. Sabendo que a reação A + B → C apresenta a lei cinética $T_i = k[B]^2$, responda ao que se pede.

a. Se a concentração de A for duplicada, haverá variação na rapidez da reação? Justifique.

b. Se a concentração de B for duplicada, como será a variação na rapidez da reação?

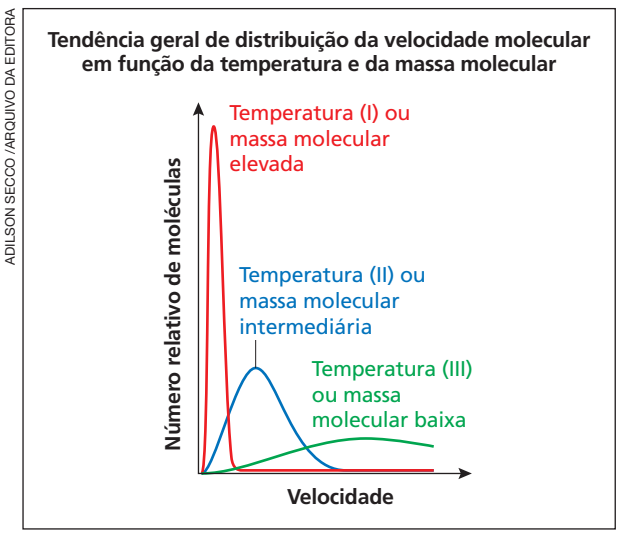
c. Quais são as ordens da reação em relação a A e B e qual é a ordem global da reação?

d. Qual dos dois mecanismos propostos a seguir melhor representa o que ocorre no processo?

Mecanismo 1	Mecanismo 2
Etapa 1 (lenta): $A + A \rightarrow A_2$	Etapa 1 (lenta): $B + B \rightarrow B_2$
Etapa 2: $A_2 + B \rightarrow A + AB$	Etapa 2: $A + B_2 \rightarrow B + AB$
Etapa 3: $AB \rightarrow C$	Etapa 3: $AB \rightarrow C$

9. Observe o gráfico a seguir e responda ao que se pede.

ADILSON SECCO /ARQUIVO DA EDITORA



Representação gráfica da tendência geral de distribuição da velocidade molecular em função da temperatura e da massa molecular.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

a. Associe os termos "elevada", "intermediária" e "baixa" aos números (I), (II) e (III) para a temperatura de forma que as frases no gráfico sejam completadas corretamente. Justifique.

b. Considerando a energia cinética constante, explique o efeito da redução da massa molecular sobre a velocidade média das moléculas indicada no gráfico.

c. De acordo com sua resposta ao item **b** e considerando os gases hidrogênio (H_2), oxigênio (O_2) e nitrogênio (N_2), à mesma temperatura, associe cada um dos gases a uma das curvas (vermelha, azul ou verde).

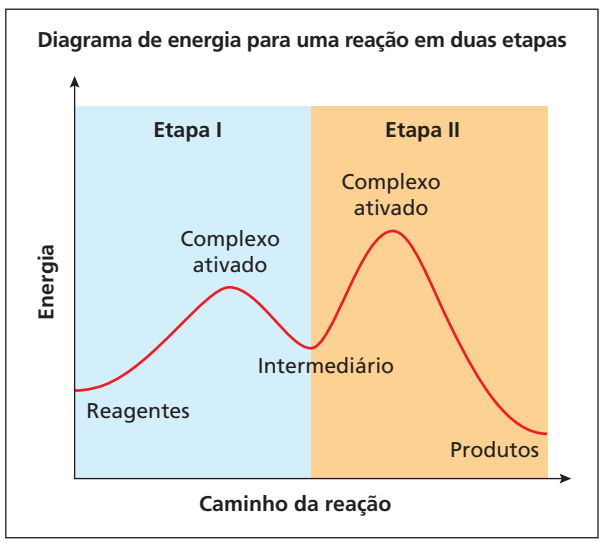
10. Os estudos cinéticos podem ser estendidos para processos biológicos. Em uma fruteira, uma banana amadureceu e começou a embolorar. O processo foi observado e registrado durante 20 dias. No primeiro dia, 2% da superfície da banana estava coberta por fungos; no quinto dia, esse percentual aumentou para 15%; no décimo dia, 40% da superfície da banana estava embolorada, chegando a 100% no vigésimo dia.

a. Esboce um gráfico que represente o crescimento da área coberta por fungos em função do tempo.

b. A taxa de proliferação dos fungos permaneceu constante durante os 20 dias de observação? Justifique por meio do gráfico ou de cálculos.

c. A hipótese de que, dentro do prazo de validade, o alimento permanece inalterado e não oferece risco à saúde, mas, assim que o prazo de validade é atingido, ele se deteriora rápida e totalmente e se torna impróprio para o consumo é plausível em função dos dados desse experimento?

11. Observe o diagrama de energia a seguir, que corresponde a uma única reação química que ocorre em duas etapas. Em seguida, responda ao que se pede e justifique.



LUIZ RUBIO /ARQUIVO DA EDITORA

Representação do diagrama de energia de uma reação em duas etapas.

a. A reação global é endotérmica ou exotérmica?

b. Qual é a etapa mais lenta da reação?

c. Utilizando o código a seguir, represente as duas etapas de reação e a reação global por meio de equações químicas:

Reagentes = R; Intermediário = I; Produtos = P.

d. Considerando que as reações possam ser revertidas, o que é mais provável: que o intermediário forme os produtos ou que regenere os reagentes?

e. Suponha que à reação química representada tenha sido acrescentado um catalisador capaz de aumentar a rapidez da etapa I. Faça as alterações necessárias no diagrama de energia para que essa nova situação seja caracterizada e indique no diagrama as energias de ativação das duas etapas.

f. A adição do catalisador tem algum efeito sobre a rapidez da reação global?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Capítulo 12

Equilíbrio químico e a produção de fertilizantes nitrogenados

SOFIA COLOMBINI

Embalagem de um fertilizante industrializado. Os valores 10, 10 e 10 indicam a porcentagem em massa de nitrogênio total, de pentóxido de difósforo (P_2O_5) e de óxido de potássio (K_2O), respectivamente.

A fertilização ou adubação do solo tem como objetivo a reposição de nutrientes importantes para o desenvolvimento dos vegetais e, por isso, é um dos fatores que mais impactam a produtividade das lavouras. O adubo utilizado pode ser obtido tanto pela decomposição da matéria orgânica – como flores, frutos e esterco – quanto por síntese em laboratório, podendo também ser extraído de rochas.

Entre os nutrientes que necessitam ser repostos ao solo encontram-se o nitrogênio, o fósforo e o potássio. Segundo estimativa feita pelo portal GlobalFert, em 2022, a demanda mundial por fertilizantes seria de aproximadamente 186 milhões de toneladas, sendo o nitrogênio o mais consumido.

Fique por dentro

A síntese da amônia: alguns aspectos históricos

CHAGAS, A. P. A síntese da amônia: alguns aspectos históricos. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 1, jan./fev. 2007. Disponível em: https://quimicanova.sbq.org.br/pdf/Vol30No1_240_38-AG05215. Acesso em: 30 jun. 2024.

Nesse artigo, você encontra mais detalhes a respeito do desenvolvimento do processo Haber-Bosch, como a disputa com outros químicos da época e a procura pelo catalisador ideal.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Representação de processos irreversíveis, reversíveis e em equilíbrio

Uma técnica utilizada há mais de 2 mil anos para melhorar as características do solo é o cultivo alternado de plantas leguminosas e não leguminosas. As leguminosas abrigam em suas raízes bactérias do gênero *Rhizobium*, as quais apresentam o complexo enzimático necessário para converter o gás nitrogênio (N_2) da atmosfera em uma espécie química solúvel em água e utilizável pelas plantas, o íon amônio (NH_4^+). Essa transformação está representada a seguir.

$$N_2(g) + 10\,H^+(aq) + 8\,e^- \xrightarrow{\text{nitrogenase}} 2\,NH_4^+(aq) + H_2(g)$$

É possível sintetizar amônia (NH_3), que reage com a água formando o íon amônio, em laboratório também a partir do nitrogênio atmosférico:

$$N_2(g) + 3\,H_2(g) \xrightleftharpoons{\text{catalisador}} 2\,NH_3(g)$$

Comparando as duas equações apresentadas, você pode se perguntar por que setas de reação diferentes foram utilizadas para representar o processo de fixação do nitrogênio pelas bactérias do gênero *Rhizobium* e a síntese em laboratório da amônia.

Muitas vezes, entendemos que uma reação química termina quando ao menos um reagente é consumido em sua totalidade. Porém, existem reações em que o produto, assim que é formado, começa a regenerar os reagentes que o produziram. Essas reações são chamadas de **reações reversíveis**.

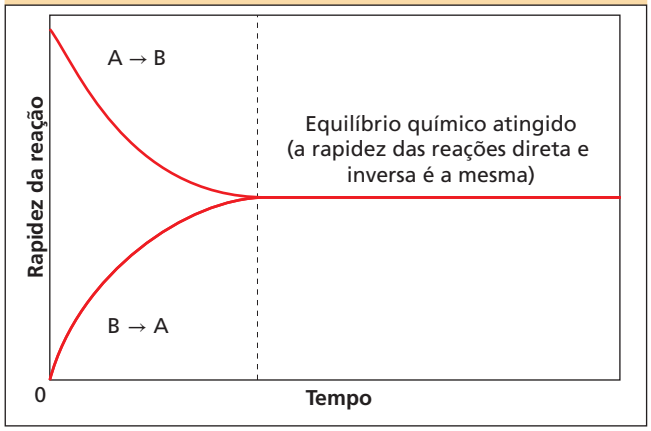
Deixe claro que a ocorrência da reversibilidade das reações químicas depende das condições nas quais elas são conduzidas.

Um exemplo de reação reversível é a síntese da amônia a partir dos gases nitrogênio e hidrogênio em sistema fechado em laboratório, representada anteriormente. O uso de setas invertidas paralelas é característico das representações de reações reversíveis.

Nos processos reversíveis em sistema fechado, há um momento em que a reação parece parar – seja de forma perceptível aos sentidos, como a falta de indícios, seja pelo fato de que a quantidade de todos os reagentes e produtos para de variar. No entanto, mesmo nessa situação, a reação não para de ocorrer; pelo contrário, a rapidez de formação dos produtos (**reação direta**) se torna a mesma que a de regeneração dos reagentes (**reação inversa**). Nessas condições, diz-se que o sistema está em **equilíbrio químico**. A situação é representada a partir da linha tracejada no gráfico.

Supondo que o gráfico representa a reação hipotética descrita pela equação química A ⇄ B, à medida que A é consumida, a rapidez da reação direta (A → B) diminui. Com a formação de B, começa a ocorrer a reação inversa (B → A). Em algum momento, as duas reações passam a ocorrer com a mesma rapidez, e o sistema atinge o equilíbrio químico. Para expressar que uma reação química atingiu o equilíbrio, utilizamos outro tipo de seta de reação: A ⇌ B. É importante perceber que, uma vez que a reação é reversível, o equilíbrio pode ser atingindo tanto a partir de um sistema reacional contendo apenas A quanto de um contendo apenas B ou ainda que se inicie a reação com uma mistura das duas substâncias.

Variação da rapidez das reações direta e inversa



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: BROWN, T. L. *et al*. **Química**: a ciência central. Tradução: Eloiza Lopes, Tiago Jonas e Sonia M. Yamamoto. 13. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.

Representação gráfica da rapidez de uma reação química até atingir o equilíbrio, alcançado no instante indicado pela linha tracejada.

O **equilíbrio dinâmico**, situação em que as transformações não cessam, apenas passam a ocorrer a uma taxa constante, não é exclusividade dos fenômenos químicos. As mudanças de fase, por exemplo, são processos reversíveis. Ou seja, quando duas mudanças de fase, como a vaporização e a condensação, acontecem com a mesma rapidez, podemos dizer que o sistema atingiu o equilíbrio, o qual pode ser representado da seguinte forma:

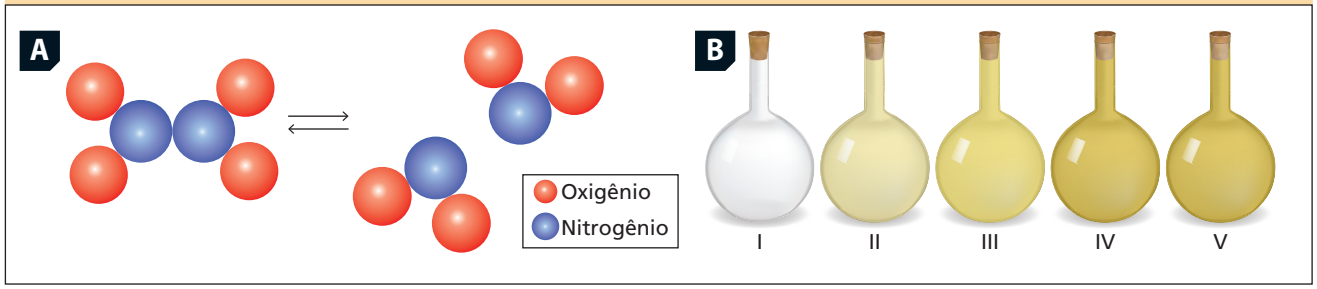
$$H_2O(\ell) \rightleftharpoons H_2O(g)$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Aspectos quantitativos das reações reversíveis em sistemas homogêneos

Vamos analisar a reação de formação do dióxido de nitrogênio (NO_2), um gás castanho-escuro que por vezes é observado no ar poluído, a partir do tetróxido de dinitrogênio (N_2O_4), um gás incolor.

Representações submicroscópica e macroscópica do equilíbrio químico



ILUSTRAÇÕES: ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

(A) Representação da conversão do gás tetróxido de dinitrogênio (N_2O_4) no gás dióxido de nitrogênio (NO_2) de acordo com o modelo atômico de Dalton. **(B)** Representação esquemática do que ocorre em nível macroscópico durante a reação química. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Considere que uma quantidade conhecida de N_2O_4 seja colocada em um recipiente fechado e transparente em que, inicialmente, tenha sido feito vácuo. Assim, em $t = 0$, o conteúdo do recipiente é incolor, pois só há moléculas de N_2O_4 em seu interior (**I**). Após algum tempo, uma coloração castanha começa a ser observada em decorrência da formação de moléculas de NO_2 pela reação de moléculas de N_2O_4 (**II**). Assim, há diminuição da concentração de N_2O_4 e aumento simultâneo da concentração de NO_2. A cor castanha vai se intensificando com o passar do tempo (**III**) até que o equilíbrio químico é alcançado, quando não se observa mais mudança na coloração do sistema reacional (**IV** e **V**), pois a taxa de síntese do NO_2 e a taxa de decomposição do N_2O_4 se igualaram.

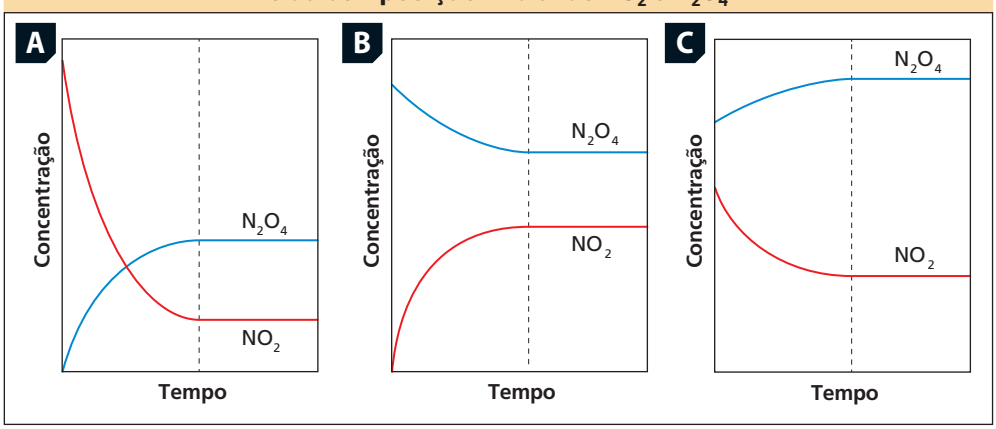
Em contrapartida, se no recipiente em vez de N_2O_4 for colocada certa quantidade de NO_2, será observado o gradual descoramento do sistema reacional à medida que a colisão efetiva das moléculas de NO_2 for resultando na formação do N_2O_4. Até que, a partir de certo momento, não ocorrerá mudança na proporção entre os componentes da mistura, e a coloração permanecerá inalterada.

De acordo com o que foi exposto, pode-se inferir que, se inicialmente temos uma mistura de NO_2 e N_2O_4, a coloração do sistema reacional se tornará mais clara ou mais escura, dependendo das concentrações iniciais das duas substâncias. O fenômeno prosseguirá até que, após determinado momento, nenhuma alteração em nível macroscópico seja visível, pois as concentrações de ambas as substâncias se manterão constantes se não houver nenhuma interferência.

As três situações descritas podem ser representadas graficamente, como se verifica a seguir.

Peça aos estudantes que levantem hipóteses sobre a importância de indicar a temperatura do sistema ao apresentar informações sobre concentração de substâncias em estudos de equilíbrio químico.

Variação da concentração em função do tempo e da composição inicial de NO_2 e N_2O_4



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação gráfica da composição do meio reacional, na mesma temperatura, em que inicialmente há: **(A)** apenas NO_2, **(B)** apenas N_2O_4 e **(C)** uma mistura de NO_2 e N_2O_4. A linha tracejada indica o instante em que o equilíbrio químico é atingido. Note que as variações nas concentrações são proporcionais aos coeficientes estequiométricos (1 N_2O_4 : 2 NO_2).

Fonte: CHANG, R.; GOLDSBY, K. A. **Química**. 11. ed. Porto Alegre: AMGH, 2010.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Enfatize que a constante universal dos gases assume diferentes valores, dependendo das unidades de medida utilizadas para as variáveis pressão e volume.

A constante de equilíbrio

A tabela a seguir apresenta alguns resultados experimentais para a reação que estamos analisando.

Sistema reacional NO_2/N_2O_4 a 25 °C

Concentração inicial (mol L^{-1})		Concentração no equilíbrio (mol L^{-1})		Razão das concentrações no equilíbrio
$[NO_2]$	$[N_2O_4]$	$[NO_2]$	$[N_2O_4]$	$\frac{[NO_2]^2}{[N_2O_4]}$
0,000	0,670	0,0547	0,643	$4{,}65 \cdot 10^{-3}$
0,0500	0,446	0,0457	0,448	$4{,}66 \cdot 10^{-3}$
0,0300	0,500	0,0475	0,491	$4{,}60 \cdot 10^{-3}$
0,200	0,000	0,0204	0,0898	$4{,}63 \cdot 10^{-3}$

Fonte: elaborada com base em CHANG, R.; GOLDSBY, K. A. **Química**. 11. ed. Porto Alegre: AMGH, 2010.

Concentrações de NO_2 e N_2O_4 na reação de equilíbrio $2\ NO_2\ (g) \rightleftharpoons N_2O_4(g)$ ao longo do tempo em condições ambientes (25 °C).

Analisando a tabela, podemos notar que as concentrações dos gases estão indicadas em quantidade de substância (mol L^{-1}). As concentrações das espécies químicas no equilíbrio dependem das concentrações iniciais. No entanto, um padrão pode ser observado quando obtemos as razões das concentrações no equilíbrio, desde que a concentração de NO_2 esteja elevada ao quadrado: observamos um valor médio de $4{,}63 \cdot 10^{-3}$ independentemente das concentrações iniciais ou daquelas observadas depois que o equilíbrio químico é atingido. Podemos representar essa situação da seguinte forma:

$$K_C = \frac{[NO_2]^2}{[N_2O_4]} = 4{,}63 \cdot 10^{-3}$$

Peça aos estudantes que elaborem uma hipótese para explicar a necessidade do expoente 2.

em que K_c é uma constante, a chamada **constante de equilíbrio**, em termos de concentração em quantidade de substância para a reação a 25 °C (298 K). A razão entre as concentrações, levando em conta os coeficientes estequiométricos, é conhecida como **equação da constante de equilíbrio**.

Para começar a entender por que o padrão só apareceu quando a concentração do NO_2 estava elevada ao quadrado, devemos retomar a equação química que representa a transformação analisada:

$$N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2\ NO_2(g)$$

Repare que o expoente da concentração é igual ao coeficiente estequiométrico da equação química balanceada – reação química representada de forma que atenda às leis ponderais.

Caso as concentrações dos gases tivessem sido fornecidas em termos de pressão parcial, a expressão da constante de equilíbrio poderia ser escrita como:

$$K_p = \frac{p(NO_2)^2}{p(N_2O_4)}$$

em que K_p é a **constante de equilíbrio em termos de pressão parcial** para a reação a 25 °C (298 K). As pressões parciais são sempre proporcionais à quantidade de substância do gás presente em um sistema gasoso.

Note que, embora as duas equações sejam matematicamente equivalentes, o valor da constante calculado é diferente. Para explicar essa razão, vamos analisar a equação química que permite converter uma constante de equilíbrio químico na outra:

$$K_p = K_c(RT)^{-\Delta n} \text{ e } K_c = K_p(RT)^{\Delta n}$$

em que R é a constante universal dos gases (0,082 atm $L\ mol^{-1}\ K^{-1}$), T é a temperatura termodinâmica (medida em kelvin) e Δn ($n_{produtos} - n_{reagentes}$) é a variação da quantidade de substância da reação (em mol), levando em conta apenas as substâncias no estado gasoso.

Segundo uma das propriedades da potenciação, se a variação da quantidade de substância for nula, os termos $(RT)^{-\Delta n}$ e $(RT)^{\Delta n}$ serão iguais a 1 e, somente nesse caso, K_p e K_c terão o mesmo valor.

O primeiro modelo matemático do equilíbrio químico foi publicado em 1864 pelo químico Peter Waage (1833-1900), em colaboração com o matemático Cato Guldberg (1836-1902), ambos noruegueses. Muito embora eles não explicassem o fenômeno do equilíbrio em termos da rapidez das reações químicas, e sim em função da afinidade (forças químicas), conceito já há algum tempo em desuso na área, a abordagem matemática ainda é válida.

Interpretação da constante de equilíbrio químico

Equilíbrio heterogêneo será discutido no capítulo 24.

O equilíbrio de sistemas em que todas as substâncias envolvidas estão em um mesmo estado de agregação, como nos casos estudados anteriormente, recebe o nome de **equilíbrio homogêneo**. Para um sistema constituído apenas por gases, podemos generalizar a expressão da constante de equilíbrio químico da seguinte forma:

$$a\ A(g) + b\ B(g) \rightleftharpoons c\ C(g) + d\ D(g)$$

$$K_c = \frac{[C]^c\,[D]^d}{[A]^a\,[B]^b} \text{ e } K_p = \frac{p(C)^c\,p(D)^d}{p(A)^a\,p(B)^b}$$

De acordo com o valor da constante de equilíbrio da reação, é possível obter informações importantes sobre a composição do sistema. Valores maiores que 1 significam que o numerador é maior que o denominador; portanto, o valor obtido pela multiplicação das concentrações dos produtos no equilíbrio é maior que o da multiplicação das concentrações dos reagentes. Isso significa que a reação favorece a formação de produtos; em contrapartida, se o valor da constante de equilíbrio está entre 0 e 1, significa que a reação favorece a formação dos reagentes. Essa análise, portanto, é uma forma de estimar o **rendimento** de uma reação.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

No exemplo da reação de dissociação do N_2O_4 a 25 °C, obteve-se o valor $K_c = 4{,}63 \cdot 10^{-3}$. Esse valor está entre 0 e 1, ou seja, no equilíbrio, a concentração de N_2O_4 é maior que a concentração de NO_2. Logo, a dissociação de N_2O_4, nas condições desse equilíbrio, não apresenta bom rendimento. Note na tabela **Sistema reacional NO_2/N_2O_4 a 25 °C** que os experimentos foram realizados na mesma temperatura, pois, conforme será estudado mais adiante, o valor da constante de equilíbrio varia com a alteração da temperatura.

Cálculos envolvendo equilíbrio químico

Agora, vamos considerar a reação química de formação de amônia (NH_3) a partir dos gases nitrogênio (N_2) e hidrogênio (H_2). Essa reação pode ser representada pela seguinte equação química:

$$N_2(g) + 3\ H_2(g) \rightleftharpoons 2\ NH_3(g)$$

Suponha que, para dada temperatura, foram determinadas as concentrações em quantidade de substância iniciais dos reagentes (N_2 e H_2), obtendo-se os valores de 1,000 mol L^{-1} para t_0. Em seguida, foram monitoradas as concentrações do produto (NH_3) em diversos tempos ao longo do curso da reação química. Esses dados são mostrados na tabela a seguir.

Podemos notar que a partir de t_4 a concentração de amônia para de variar, o que indica que o sistema atingiu o equilíbrio químico. Seria possível deduzir quais são as concentrações dos gases nitrogênio e hidrogênio na situação de equilíbrio sem precisar medi-las em laboratório?

Concentração de gás amônia em função do tempo

Tempo	$[NH_3]$ (mol L^{-1})
t_0	0
t_1	0,252
t_2	0,372
t_3	0,428
t_4	0,438
t_5	0,438
t_6	0,438

Fonte: elaborada com base em RUSSEL, J. B. **Química geral**. 2. ed. São Paulo: Makron Books, 2006.

Variação da concentração de gás amônia em função do tempo.

Conhecendo a concentração ou a pressão parcial de um dos participantes, é possível, com base nos coeficientes estequiométricos, determinar a concentração ou a pressão parcial dos outros. No caso estudado, a diferença entre os valores de concentração de amônia no equilíbrio e no início da reação resulta na variação de concentração dessa substância que ocorreu até o equilíbrio ser estabelecido. Essa variação também acontece com os demais constituintes da mistura, obedecendo à proporção estequiométrica da reação. Acompanhe o raciocínio a seguir.

Reação	1 $N_2(g)$	+	3 $H_2(g)$	$\rightleftharpoons$	2 $NH_3(g)$
Inicial (mol L^{-1})	1,000		1,000		0
Variação (mol L^{-1})	$1{,}000 - \left(\frac{1 \cdot 0{,}438}{2}\right)$		$1{,}000 - \left(\frac{3 \cdot 0{,}438}{2}\right)$		$0{,}438 + 0 = 0{,}438$
Equilíbrio (mol L^{-1})	0,781		0,343		0,438

Note que o valor da variação da concentração de amônia (0,438) foi dividido pelo coeficiente estequiométrico dessa substância (**2**) e multiplicado pelo coeficiente estequiométrico da substância cuja concentração queremos determinar (**1**, no caso do N_2, e **3**, no caso do H_2).

Para calcular o valor da constante de equilíbrio (K_c) nas condições do experimento, basta substituir as concentrações de reagentes e produto no equilíbrio na expressão da constante de equilíbrio:

$$K_C = \frac{[NH_3]^2}{[N_2]\,[H_2]^3}$$

Substituindo os valores, temos:

$$K_C = \frac{[0{,}438\ \text{mol}\ L^{-1}]^2}{[0{,}781\ \text{mol}\ L^{-1}]\,[0{,}343\ \text{mol}\ L^{-1}]^3}$$

$$K_C \simeq 6{,}01$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

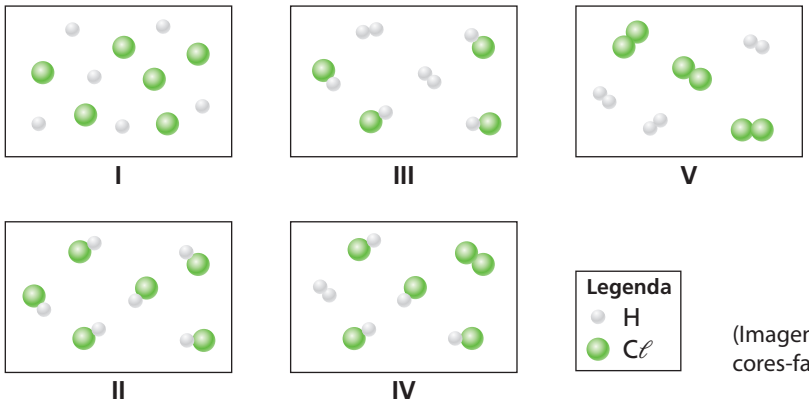
Registre em seu caderno

1. Considere a síntese reversível do cloreto de hidrogênio, $HC\ell(g)$, a partir dos gases hidrogênio, $H_2(g)$, e cloro, $C\ell_2(g)$.

a. Escreva a equação química de equilíbrio entre essas espécies químicas.

b. Classifique os gases hidrogênio, cloro e cloreto de hidrogênio em reagentes ou produtos, tanto para a reação direta quanto para a inversa.

c. Qual das figuras a seguir representa corretamente um equilíbrio químico entre essas espécies? Justifique.



(Imagens sem escala; cores-fantasia.)

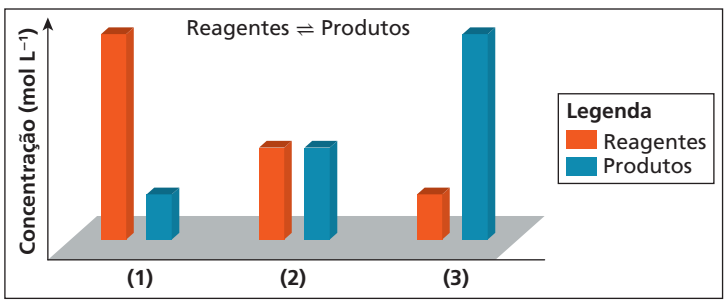
ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

2. Considere os seguintes equilíbrios químicos:

Equilíbrio A	$2\ SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2\ SO_3(g)$	$K_C = \frac{[SO_3]^2}{[SO_2]^2\,[O_2]}$	$K_c = 9{,}9 \cdot 10^{25}$
Equilíbrio B	$N_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2\ NO(g)$	$K_C = \frac{[NO]^2}{[N_2]\,[O_2]}$	$K_c = 4{,}5 \cdot 10^{-30}$

Fontes: ATKINS, P.; JONES, L. **Princípios de Química**: questionando a vida moderna e o meio ambiente. Porto Alegre: *Bookman*, 2001. MOORE, J. *et al*. **Principles of Chemistry**: The Molecular Science. Boston: Cengage Learning, 2010.

Qual dos três cenários apresentados no gráfico corresponde ao equilíbrio A e qual corresponde ao equilíbrio B? Explique.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

3. (UCPel-RS) Um grupo de pesquisadores químicos apresentou relatório contendo resultados de estudos sobre processos alternativos para a produção de substância de vital importância para a população. Considerando as constantes de equilíbrio, usadas como critério de escolha e apresentadas a seguir para cada processo, espera-se que o responsável opte pelo processo: 3. Alternativa **a**.

	Processo	K_c
a.	I	100
b.	II	10
c.	III	1
d.	IV	0,1
e.	V	0,01

4. Acetato de etila ($C_4H_8O_2$) é uma substância frequentemente utilizada como solvente de vernizes. Considere um recipiente de volume igual a um litro em que dois mols de acetato de etila foram misturados à mesma quantidade de substância de água. O equilíbrio formado é o seguinte:

$$C_4H_8O_2 + H_2O \rightleftharpoons C_2H_5OH + C_2H_4O_2$$

Depois de atingido o equilíbrio, ainda há 0,68 mol de acetato de etila no recipiente. Qual é o valor aproximado da constante desse equilíbrio (medida à temperatura do experimento)?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Fatores que alteram a composição de uma mistura em equilíbrio

O simples fato de existir uma reação que produza a substância desejada não é suficiente para determinar as possibilidades de sua utilização em escala industrial. Além da questão dos custos da produção, dois aspectos químicos precisam ser levados em consideração: a rapidez com que a reação ocorre e qual é, em condições de equilíbrio, seu rendimento – parâmetro que pode ser calculado como a razão entre a quantidade realmente obtida e a teoricamente calculada a partir da proporção estequiométrica.

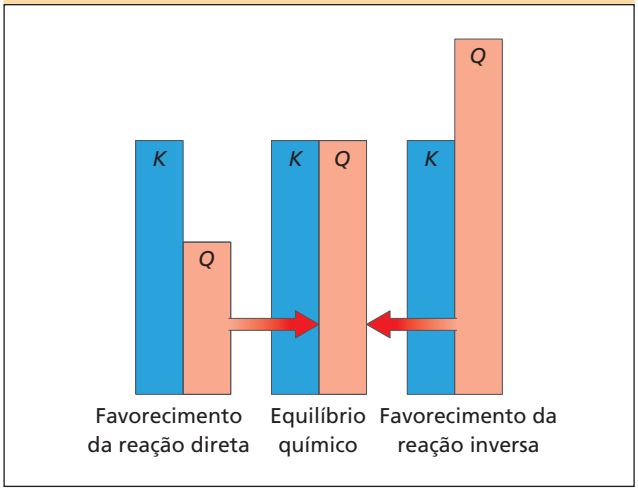
Não é raro que esses dois parâmetros das reações químicas sejam antagônicos, ou seja, opostos. Há reações que são cineticamente favoráveis, mas a quantidade efetivamente produzida da substância de interesse é baixa, e vice-versa. No entanto, em um equilíbrio químico, existe a possibilidade de favorecer uma das reações – direta ou inversa. Assim, o conhecimento dos fatores que alteram as condições de equilíbrio químico pode ajudar a melhorar o rendimento das reações e sua aplicabilidade do ponto de vista comercial.

Em 1884, o químico francês Henri Louis Le Chatelier (1850-1936) propôs uma regra empírica para prever o efeito que fatores externos – como alterações na concentração, na temperatura, na pressão e no volume – teriam na composição de uma mistura que se encontrava em equilíbrio químico. Em 1888, Le Chatelier reformulou o enunciado do princípio a fim de torná-lo mais simples e generalista. No entanto, em 1933, ele reconheceu algumas deficiências dos enunciados anteriores, reformulando-o pela última vez.

Embora esse princípio não possa ser aplicado em qualquer situação, seja por limitações impostas pela própria definição da constante de equilíbrio químico, seja pela falta de precisão para prever o resultado de alterações simultâneas que causam efeitos antagônicos, sua ideia geral é útil. De forma simplificada, o **princípio de Le Chatelier** diz que a perturbação de um sistema em equilíbrio por fatores externos leva a alterações na composição do sistema reacional de forma que estabelece uma nova situação de equilíbrio químico, minimizando a ação perturbadora externa.

Para avaliar de forma adequada qual reação (direta ou inversa) será favorecida após determinada perturbação do equilíbrio, deve-se obter o **quociente de reação** (*Q*) e compará-lo com o valor conhecido da constante de equilíbrio (*K*) para a temperatura em que se encontra o sistema reacional, como representado a seguir. Para calcular o quociente de reação, basta resolver a equação da constante de equilíbrio, utilizando, no entanto, os valores de concentração em quantidade de substância ou pressão parcial da situação fora do equilíbrio imposta ao sistema.

Relação entre quociente de reação e constante de equilíbrio



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática da relação entre quociente de reação e constante de equilíbrio em resposta à perturbação do sistema.

Para melhor compreender a relação entre *Q* e *K*, vamos analisar, a seguir, o caso da síntese da amônia a partir dos gases N_2 e H_2.

O processo produtivo Haber-Bosch

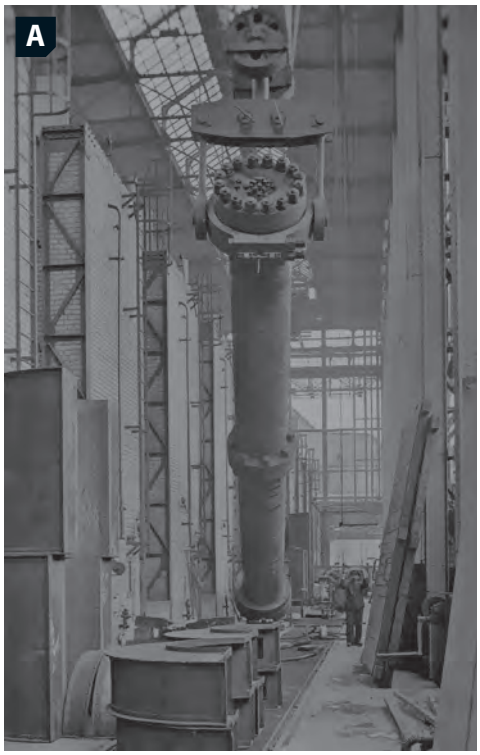
Em 1904, o químico alemão Fritz Haber (1868-1934) iniciou suas pesquisas para sintetizar amônia a partir dos gases nitrogênio e hidrogênio de forma economicamente viável. Na época, os experimentos anteriores demonstravam baixo rendimento. Haber levou cinco anos para alcançar o objetivo, e, com a ajuda do engenheiro químico alemão Carl Bosch (1874-1940), em 1912 a síntese foi levada à escala industrial, com a produção de mais de 1 tonelada de amônia em um único dia. O processo Haber-Bosch, como ficou conhecida essa rota de síntese, ajudou a Alemanha a se tornar menos dependente da importação de fertilizantes nitrogenados naturais, como o salitre chileno ($NaNO_3$), garantindo o abastecimento de sua população crescente.

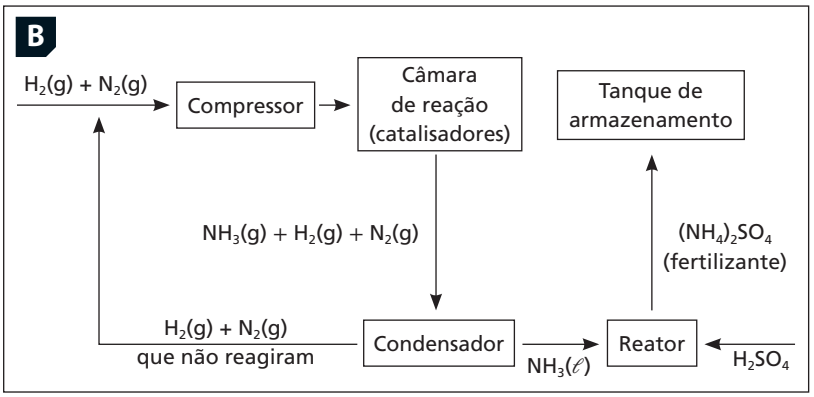
Segundo dados do portal Our World in Data, estima-se que essa tecnologia seja responsável pela alimentação de metade da população mundial. O desenvolvimento desse processo produtivo foi influenciado por questões políticas: com a eclosão da Primeira Guerra Mundial, em 1914, a produção de amônia garantiu também a fabricação de explosivos, mesmo com o bloqueio marítimo imposto pela Inglaterra. Haber ganhou o Prêmio Nobel de Química em 1918 por seu trabalho com a síntese da amônia, embora tenha participado ativamente do programa de armas químicas alemão durante a guerra, o que foi objeto de críticas. Mais detalhes dessa situação serão apresentados na seção **Em foco** deste capítulo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

É provável que os estudantes já tenham tomado contato com o termo "empírico" durante o Ensino Fundamental, quando estudaram as leis ponderais. Se não for o caso, esclareça que regras empíricas são aquelas formuladas com base em dados experimentais.

CC-PD-MARK/WIKIMEDIA FOUNDATION, INC.





HERBERT TSUJI/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: CHANG, R.; GOLDSBY, K. A. **Química**. 11. ed. Porto Alegre: McGraw-Hill, 2013.

(A) Instalação do reator idealizado por Bosch para a síntese de amônia a alta pressão. Esse reator operava a cerca de 200 atm. **(B)** Fluxograma do processo produtivo de Haber-Bosch para a fabricação de fertilizante. A energia liberada na reação é aproveitada para aquecer os gases que entram no processo.

A amônia pode ser convertida em nitrato de amônio, NH_4NO_3, sulfato de amônio, $(NH_4)_2SO_4$, ou hidrogenofosfato de amônio, $(NH_4)_2HPO_4$, nas seguintes reações:

$$NH_3(aq) + HNO_3(aq) \rightarrow NH_4NO_3(aq)$$

$$2\ NH_3(aq) + H_2SO_4(aq) \rightarrow (NH_4)_2SO_4(aq)$$

$$2\ NH_3(aq) + H_3PO_4(aq) \rightarrow (NH_4)_2HPO_4(aq)$$

Outro método de preparação de sulfato de amônio requer dois passos:

$$2\ NH_3(aq) + CO_2(aq) + H_2O(\ell) \rightarrow (NH_4)_2CO_3(aq)$$

$$(NH_4)_2CO_3(aq) + CaSO_4(aq) \rightarrow (NH_4)_2SO_4(aq) + CaCO_3(s)$$

Este último processo é preferível porque as matérias-primas – dióxido de carbono e sulfato de cálcio – são mais baratas do que o ácido sulfúrico. A tabela a seguir apresenta a composição percentual em massa do nitrogênio em alguns fertilizantes mais comuns atualmente.

Composição percentual em massa de nitrogênio em fertilizantes

Fertilizante	% em massa de N
NH_3	82,4
NH_4NO_3	35,0
$(NH_4)_2SO_4$	21,2
$(NH_4)_2HPO_4$	21,2
$(NH_2)_2CO$	46,7

Fonte: CHANG, R.; GOLDSBY, K. A. **Química**. 11. ed. Porto Alegre: McGraw-Hill, 2013.

Comparação do porcentual em massa do elemento químico nitrogênio em diferentes fertilizantes.

Vários fatores influenciam a escolha de determinado fertilizante, como o custo das matérias-primas necessárias para prepará-lo, a facilidade de armazenamento, de transporte e de utilização, a composição percentual em massa do elemento desejado e a facilidade de solubilidade em água e assimilação pelas plantas. Considerando todos esses fatores, verificamos que o NH_4NO_3 é o fertilizante nitrogenado mais importante do mundo, apesar de a amônia ter a maior porcentagem em massa de nitrogênio.

Fique por dentro

Ciência, palavra (pouco) feminina

GUIMARÃES, M. Ciência, palavra (pouco) feminina. **Pesquisa Fapesp**, São Paulo, dez. 2011. Disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/ciencia-palavra-pouco-feminina. Acesso em: 30 jun. 2024.

O artigo chama a atenção para a pouca valorização das mulheres cientistas no âmbito da Química e da Física, sobretudo em relação a questões como casamento e maternidade. Entre as mulheres destacadas encontra-se a química alemã Clara Immerwahr (1870-1915), esposa de Fritz Haber.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

OBJETO DIGITAL
Vídeo: O uso de fertilizantes nitrogenados na produção agrícola

A produção agrícola brasileira importa cerca de 85% do total de fertilizantes que usa. Porém, iniciativas previstas pelo Governo Federal estimam que essa dependência externa caia para cerca de 50% até 2050. Guerras como a se iniciou entre Rússia e Ucrânia no início de 2022 podem prejudicar a produção agrícola brasileira, pois a Rússia é a maior produtora mundial de fertilizantes, da qual o Brasil importou, em 2021, cerca de 25% do total de fertilizantes utilizados.

Variações na pressão e no volume

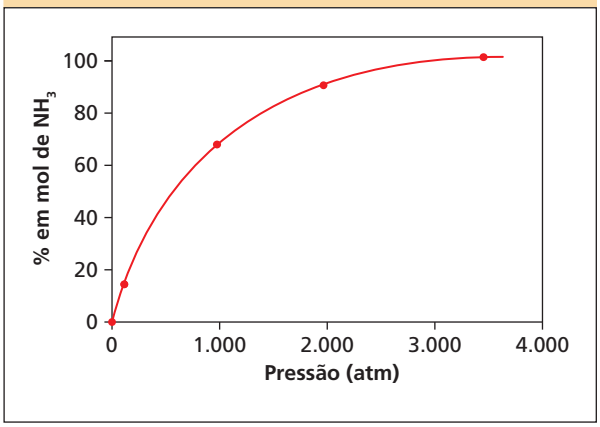
Para compreender a solução proposta por Haber, precisamos entender como se comporta um sistema no estado gasoso. O estado de um gás é caracterizado por três variáveis: a pressão (*p*) que ele exerce sobre as paredes do recipiente no qual está contido, o volume (*V*) por ele ocupado e sua temperatura (*T*). Essas variáveis se relacionam por meio da seguinte expressão:

$$\frac{pV}{T} = \text{constante}$$

A análise dessa equação matemática indica que pressão e volume são grandezas inversamente proporcionais. Assim, quando um sistema em estado gasoso tem seu volume diminuído a temperatura constante, sua pressão total aumenta e, consequentemente, a pressão parcial de todos os gases também aumenta. Como a pressão é proporcional ao número de moléculas presentes, nessas condições a reação que produz menor quantidade de substâncias em estado gasoso é favorecida. Mas, como a pressão parcial de todos os gases aumenta, e não a de apenas um, o valor da constante de equilíbrio permanece o mesmo.

$$N_2(g) + 3\,H_2(g) \overset{\text{catalisador}}{\rightleftharpoons} 2\,NH_3(g) \quad \Delta H° = -92{,}6\ \text{kJ mol}^{-1}$$

Porcentagem de NH_3 no equilíbrio em função da pressão total dos gases a 425 °C



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: CHANG, R.; GOLDSBY, K. A. **Química**. 11. ed. Porto Alegre: AMGH, 2010.

Representação gráfica do percentual de NH_3 no equilíbrio em função da pressão do sistema.

Analisando a equação química da síntese estudada, nota-se que a reação direta fornece 2 mol de gás, enquanto a reação inversa fornece 4 mol de gás. Logo, a redução de volume com aumento da pressão aumentaria o rendimento de formação de amônia. Esse raciocínio está de acordo com medidas experimentais, conforme o gráfico.

Os dados mostram que o aumento da pressão aumenta a porcentagem de amônia no meio reacional, conforme o esperado, e que o rendimento máximo é alcançado acima de 3.000 atm. Em geral, no processo industrial utilizam-se pressões da ordem de 500 atm.

Outra forma de avaliar o efeito da variação no volume e na pressão do sistema é comparar Q_p com K_p. No exemplo da produção de amônia, o aumento da pressão parcial de todos os gases leva a um aumento mais acentuado do denominador da equação da constante de equilíbrio, em razão dos maiores expoentes:

$$Q_P = \frac{p(NH_3)^2}{p(N_2)^1\,p(H_2)^3}$$

Comente que esse é um dos casos em que o princípio de Le Chatelier não fornece uma previsão correta.

Nesse caso, $Q_p < K_p$ e, portanto, será favorecida a reação direta, levando ao consumo dos reagentes e à produção de mais amônia. Como resultado, o rendimento da reação aumenta.

Você pode estar se questionando se efeito semelhante poderia ser alcançado aumentando-se a pressão, sem alterar o volume do recipiente, por meio da adição de um **gás inerte**, ou seja, um gás que não participa da reação. Nesse caso, a pressão total do sistema aumentaria, e as frações em quantidade de substância dos gases reagentes diminuiriam; no entanto, suas pressões parciais permaneceriam as mesmas. Dessa forma, a adição de gás inerte não teria efeito no equilíbrio químico.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADE COMENTADA

Considere o seguinte equilíbrio em estado gasoso:

$$H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2\,HI(g)$$

Explique por que motivo esse equilíbrio, apesar de envolver gases, não é perturbado por alteração de pressão.

Analisar o enunciado

O problema envolve o equilíbrio químico entre os gases hidrogênio (H_2), iodo (I_2) e hidreto de hidrogênio (HI). Precisamos explicar por que mudanças na pressão não afetam esse equilíbrio, apesar de envolver gases.

Selecionar as informações relevantes

A equação que descreve a reação química é:

$$H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2\,HI(g)$$

A reação envolve gases, mas note que o número total de mols de gás nos reagentes é igual ao número de mols nos produtos. Ou seja, não há uma mudança líquida no número de mols de gás quando a reação ocorre. Isso pode ser constatado pelo fato de a soma dos coeficientes dos produtos (1 + 1 = 2) ser igual à soma dos coeficientes dos reagentes (2 + 0 = 2).

Aplicar o conceito estudado

O princípio de Le Chatelier diz que, quando um sistema em equilíbrio é perturbado por uma mudança externa, ele ajustará suas condições para minimizar o efeito dessa perturbação. Aplicando esse princípio, um aumento na pressão favoreceria a configuração com menor quantidade de substância de gás, e uma diminuição na pressão favoreceria a configuração com maior quantidade de substância de gás.

Nesse caso, como o número total de mols de gás é o mesmo nos reagentes e nos produtos, qualquer alteração na pressão não afetará a posição de equilíbrio.

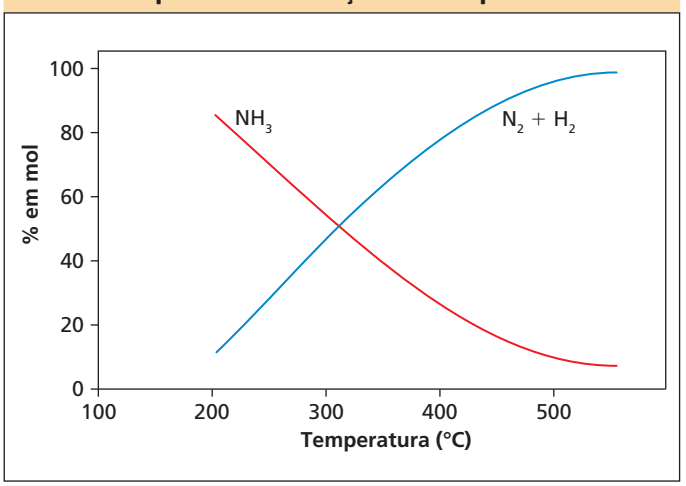
Verificar a solução

A reação continuará a se ajustar para manter o número total de mols de gás constante, independentemente das mudanças na pressão. Portanto, a pressão não altera o estado de equilíbrio químico dessa reação.

Variações na temperatura

A reação de formação de amônia que estamos estudando é exotérmica, ou seja, apresenta variação de entalpia negativa, indicando que a reação direta se processa à pressão constante com transferência de energia na forma de calor para a vizinhança. Assim, a diminuição da temperatura do sistema reacional favoreceria a reação que compensa essa perturbação, no caso, a formação de amônia. Esse raciocínio é corroborado por dados experimentais, conforme gráfico a seguir. No entanto, no processo industrial, a reação é conduzida a 500 °C. A justificativa para essa escolha é cinética. Lembre-se de que a elevação da temperatura aumenta a rapidez das reações químicas e, comercialmente, isso é vantajoso.

Composição do sistema reacional no equilíbrio em função da temperatura



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: CHANG, R.; GOLDSBY, K. A. **Química**. 11. ed. Porto Alegre: AMGH, 2010.

Representação gráfica do sistema H_2, N_2 e NH_3, e a influência da temperatura na composição desse sistema.

Diferentemente do caso da alteração da pressão e do volume discutido anteriormente, a alteração da temperatura do sistema reacional leva ao estabelecimento de uma nova situação de equilíbrio com valor de constante diferente do observado na situação inicial:

- Nas reações exotérmicas ($\Delta H < 0$), o aumento da temperatura diminui o valor de *K*.
- Nas reações endotérmicas ($\Delta H > 0$), o aumento da temperatura aumenta o valor de *K*.

Essas conclusões foram obtidas empiricamente em 1884 pelo físico-químico holandês Jacobus Henricus van't Hoff (1852-1911).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Presença de um catalisador

Como os catalisadores diminuem a energia de ativação tanto da reação direta quanto da reação inversa, eles não afetam o equilíbrio químico. No entanto, por aumentarem a rapidez da reação, seu uso no processo industrial é vantajoso. Haber iniciou o desenvolvimento do processo com um catalisador de ósmio (Os), que, contudo, não era barato o suficiente para ser utilizado em larga escala.

Variações na concentração

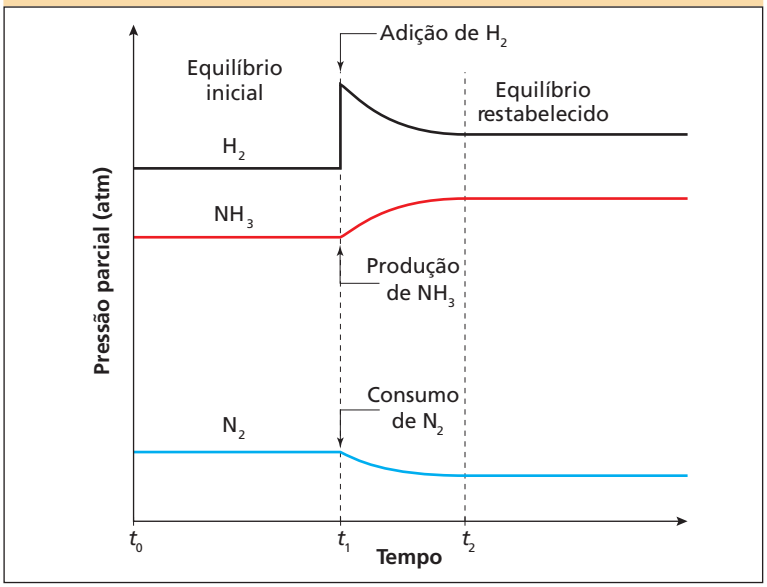
Nas instalações industriais, muitas vezes os reatores operam de maneira contínua pelas constantes remoção do produto formado e inserção de reagentes, obedecendo à proporção estequiométrica. Em um sistema no estado gasoso, a remoção do produto pode ser alcançada por um processo de separação de misturas com base em diferenças de temperatura de liquefação, por exemplo. A remoção do produto afeta o equilíbrio químico, favorecendo a reação de interesse. Mas, em um reator que opera por lotes (processo em batelada), que estratégias temos para favorecer a reação de interesse?

Comente que esse é um dos casos em que o princípio de Le Chatelier não fornece uma previsão correta.

A adição de gás hidrogênio (H_2), mantendo a temperatura e o volume do sistema constantes, aumentaria a fração em quantidade de substância desse gás no sistema e, consequentemente, sua pressão parcial. Nessa nova situação, o denominador da equação da constante de equilíbrio será maior e, consequentemente, Q_p será menor que K_p. Para que o equilíbrio seja restabelecido ($Q_p = K_p$), a pressão parcial de amônia (que corresponde ao numerador da equação) deve aumentar, ou as pressões parciais de nitrogênio e de hidrogênio (o denominador) devem diminuir, ou ambos. Isso só é possível pelo consumo de nitrogênio e de hidrogênio, com a produção de mais amônia. Ou seja, é favorecida a reação direta. Raciocínio similar pode ser estendido para o caso da adição de gás nitrogênio (N_2). A adição de gás hidrogênio a um sistema em equilíbrio pode ser representada graficamente:

Comportamento do sistema reacional com a adição de H_2 em volume e temperatura constantes

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA



Fonte: elaborado com base em BROWN, T. L. *et al*. **Química**: a ciência central. Tradução: Eloiza Lopes, Tiago Jonas e Sonia M. Yamamoto. 13. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2016.

Representação gráfica do sistema H_2, N_2 e NH_3, e a influência da adição de H_2 ao estado de equilíbrio do sistema.

A adição de H_2 em t_1 causa perturbação no equilíbrio, o que leva a um novo equilíbrio em t_2, com pressões parciais de reagentes e de produto diferentes das iniciais, mas cujo valor de K_p é o mesmo. No entanto, caso o aumento da concentração de um dos reagentes ocorra a temperatura e a pressão constantes, o aumento do volume total levará à diminuição da concentração do outro reagente e da amônia.

Na prática, conforme pode ser verificado no **Fluxograma do processo produtivo de Haber-Bosch**, abordado anteriormente, ocorre a contínua adição dos reagentes hidrogênio e nitrogênio na câmara de reação, bem como a contínua retirada de amônia por condensação.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

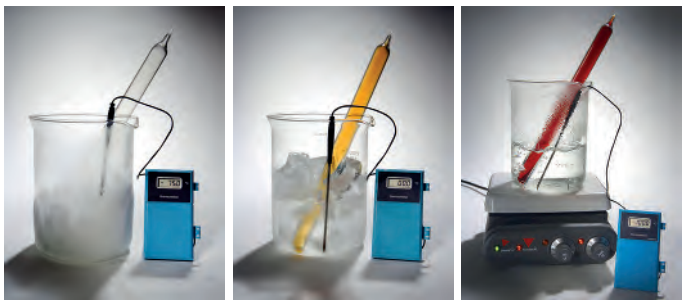
Registre em seu caderno

5. Considere o equilíbrio a seguir e responda às questões.

$$\underset{\text{Gás de coloração castanha}}{2\ NO_2(g)} \rightleftharpoons \underset{\text{Gás praticamente incolor}}{N_2O_4(g)}$$

Verificam-se as seguintes variações de cor conforme a temperatura aumenta:

© 2005 RICHARD MEGNA/FUNDAMENTAL PHOTOGRAPHS, NYC



Registros de experimento de reação de síntese do gás tetraóxido de nitrogênio com o aumento da temperatura.

a. A reação de síntese do N_2O_4 ($2\ NO_2 \rightarrow N_2O_4$) é endotérmica ou exotérmica? Explique.

b. O que acontece com o valor numérico da constante do equilíbrio $2\ NO_2\ (g) \rightleftarrows N_2O_4(g)$ com o aumento da temperatura? Justifique.

6. Utilizando os dados da tabela a seguir, explique como se pode concluir que a reação de síntese da amônia a partir dos gases nitrogênio e hidrogênio é endotérmica ou exotérmica.

Percentual de NH_3 em mol na mistura em equilíbrio

Temperatura (°C)	K_c	10 atm	50 atm	100 atm	300 atm	1.000 atm
200	0,3	51%	74%	82%	90%	98%
300	$3{,}7 \cdot 10^{-3}$	15%	39%	52%	71%	93%
400	$1{,}5 \cdot 10^{-4}$	4%	15%	25%	47%	80%
500	$1{,}4 \cdot 10^{-5}$	1%	6%	11%	26%	57%
600	$2{,}1 \cdot 10^{-6}$	0,5%	2%	5%	14%	31%

Fonte: MASTERTON, W. *et al*. **Chemistry**: Principles and Reactions. 7th ed. Boston: Brooks; Cole, 2012.

Comparação do porcentual em quantidade de substância da amônia no meio reacional em diferentes temperaturas e pressões.

7. (UFRJ) Em um recipiente fechado e mantido a temperatura constante, foram adicionadas substâncias ○○ e □▷, formadas pelos elementos □, △ e ○, como mostra a Figura 1.

A mistura contida no recipiente foi posta para reagir até atingir o equilíbrio, como representado na Figura 2.

Início

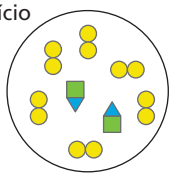


Fig. 1

Equilíbrio

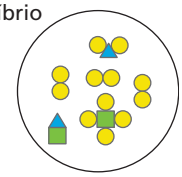


Fig. 2

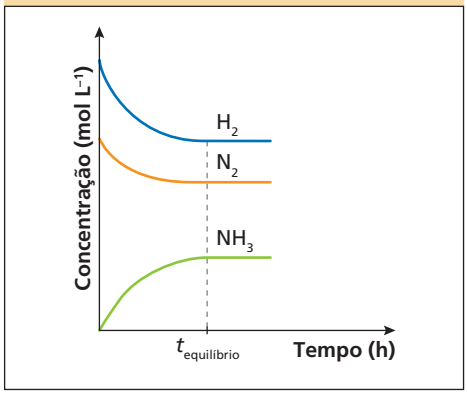
Todas as substâncias estão no estado gasoso.

a. Dê a equação balanceada que representa a reação.

b. Explique a influência do aumento de pressão no deslocamento do equilíbrio do sistema reacional que está representado na Figura 2.

8. Suponha que tenha sido adicionado gás nitrogênio ao sistema representado graficamente a seguir, o qual é relativo ao equilíbrio de síntese da amônia, $N_2(g) + 3\ H_2(g) \rightleftharpoons 2\ NH_3(g)$. Represente o gráfico completo, ou seja, considerando essa adição, para as três espécies químicas envolvidas, obedecendo às proporções estequiométricas.

Concentrações de N_2, H_2 e NH_3 em função do tempo



Representação gráfica do sistema H_2, N_2 e NH_3, e a influência da adição de N_2 ao sistema em equilíbrio.

ILUSTRAÇÕES: ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

EM FOCO O processo de Haber-Bosch

ODS 2

A quantidade de comida necessária para alimentar a crescente população da Terra é muito superior à fornecida por plantas fixadoras de nitrogênio. [...] Portanto, a agricultura precisa de quantidades substanciais de fertilizantes à base de amônia para terras de cultivo. De todas as reações químicas que os humanos aprenderam a controlar para seus próprios fins, uma das mais importantes é a síntese de amônia a partir de hidrogênio e nitrogênio atmosférico.

Em 1912, o químico alemão Fritz Haber (1868-1934) desenvolveu o processo de Haber [...], podendo também ser chamado de processo de Haber–Bosch, em homenagem a Karl Bosch, o engenheiro que desenvolveu o processo industrial em grande escala [...]. A engenharia necessária para implementar o processo de Haber requer o uso de temperaturas e pressões difíceis de atingir naquela época (aproximadamente 500 °C e 200 a 600 atm). O processo de Haber fornece um exemplo historicamente interessante do complexo impacto da química em nossas vidas. No início da Primeira Guerra Mundial, em 1914, a Alemanha dependia de depósitos de nitrato do Chile para obter os compostos de nitrogênio necessários na fabricação de explosivos. Durante a guerra, o bloqueio naval aliado da América do Sul cortou esse abastecimento. No entanto, com base na reação de Haber para fixar o nitrogênio do ar, a Alemanha foi capaz de continuar a produzir explosivos. Especialistas avaliaram que a Primeira Guerra Mundial teria terminado antes de 1918 se não fosse o processo de Haber.

[...], como um fator importante para a manutenção da guerra, o processo de Haber tornou-se a principal fonte mundial de nitrogênio fixado. Esse processo permitiu a fabricação de fertilizantes, que aumentaram a produtividade das culturas, salvando milhões de pessoas da fome. [...]. A amônia pode ser aplicada diretamente no solo ou ser convertida em sais de amônia, que também são utilizados como fertilizantes.

Haber era um alemão nacionalista que apoiou de maneira entusiasmada os esforços de seu país durante a guerra. Ele atuou como chefe do Serviço de Guerra Química da Alemanha durante a Primeira Guerra Mundial e desenvolveu o uso de cloro como uma arma de gás tóxico. Consequentemente, a decisão de dar o Prêmio Nobel de Química a ele em 1918 foi objeto de polêmica e críticas consideráveis. A ironia final, entretanto, veio em 1933, quando Haber foi expulso da Alemanha por ser judeu.

Fonte: BROWN, T. L. *et al.* **Química**: a ciência central. Tradução: Eloiza Lopes, Tiago Jonas e Sonia M. Yamamoto. 13. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.

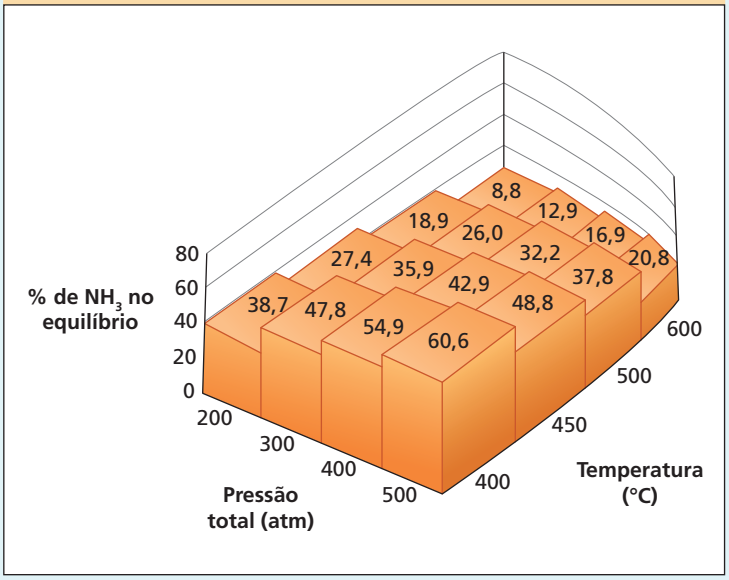
Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. Reúna-se com os colegas e debata o Prêmio Nobel concedido a Haber em 1918. Faça uma síntese das ideias na forma de um pequeno texto.
2. Explique a ironia na expulsão de Haber da Alemanha em 1933.
3. Observe, no gráfico, como a temperatura e a pressão influenciam o equilíbrio de síntese da amônia.

   O que se pode concluir a respeito da influência da temperatura sobre o equilíbrio $N_2(g) + 3\ H_2(g) \rightleftharpoons 2\ NH_3(g)$? Sabendo que o processo Haber-Bosch usa altas temperaturas para síntese de amônia, qual é a aparente incoerência nesse processo? Explique.

Fonte: BROWN, T. L. *et al.* **Química**: a ciência central. Tradução: Eloiza Lopes, Tiago Jonas e Sonia M. Yamamoto. 13. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.

Percentual de amônia no equilíbrio em função da pressão e da temperatura



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

O percentual de amônia no equilíbrio varia de acordo com a pressão total e a temperatura do sistema.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADES DE FECHAMENTO

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. (UFRN) O equilíbrio químico se caracteriza por ser uma dinâmica em nível microscópico. Para se ter uma informação quantitativa da extensão do equilíbrio químico, usa-se a grandeza constante de equilíbrio. Considere a tirinha a seguir.

FRANK & ERNEST. BOB THAVES © 1991 THAVES/DIST. BY ANDREWS MCMEEL SYNDICATION

Aplicada ao equilíbrio químico, a ideia que o personagem tem sobre equilíbrio: 1. Alternativa **b**.

a. é correta, pois, no equilíbrio químico, metade das quantidades sempre é de produtos, e a outra metade é de reagentes.

b. não é correta, pois, no equilíbrio químico, as concentrações de produtos e as de reagentes podem ser diferentes, mas são constantes.

c. é correta, pois, no equilíbrio químico, as concentrações de reagentes e as de produtos sempre são iguais, desde que o equilíbrio não seja perturbado por um efeito externo.

d. não é correta, pois, no equilíbrio químico, as concentrações dos produtos sempre são maiores que as dos reagentes, desde que o equilíbrio não seja afetado por um fator externo.

2. (UFPR) Um estudante de química preparou, em um tubo de ensaio, uma solução aquosa contendo $[CoC\ell_4]^{2-}$, que é um íon complexo de cobalto. Esse íon, na presença de água, forma um equilíbrio descrito pela equação química a seguir.

$$[CoC\ell_4]^{2-}(aq) + 6\ H_2O(\ell) \rightleftharpoons [Co(H_2O)_6]^{2+}(aq) + 4\ C\ell^-(aq)$$
Azul Rosa

Ao realizar diversos experimentos, o estudante observou que:

- Quando a temperatura é 25 °C, a solução tem cor azul.
- A cor azul se intensifica após o aquecimento até aproximadamente 100 °C.
- A solução se tornou rosa quando o tubo de ensaio foi colocado num banho de gelo.
- Quando a temperatura é mantida em 25 °C, a coloração azul se intensifica após a adição de NaCℓ(s) na solução.

A respeito do equilíbrio representado e das observações do estudante, analise os itens a seguir.

01. A reação é endotérmica no sentido direto.

02. A constante de equilíbrio aumenta quando o sistema é resfriado.

04. A constante de equilíbrio diminui quando NaCℓ(s) é adicionado.

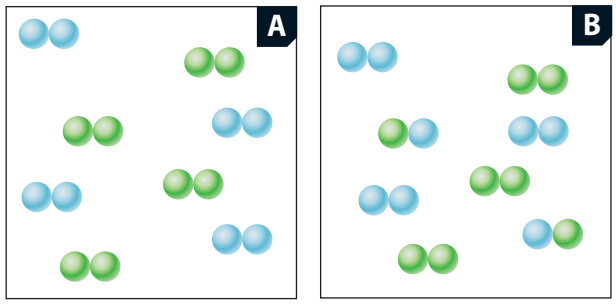
08. A adição de NaCℓ(s) aumenta a concentração de íons $C\ell^-$ em solução, deslocando o equilíbrio no sentido da reação inversa.

16. A adição de um catalisador a 25 °C acelera a reação, deslocando o equilíbrio no sentido da reação direta, intensificando a cor rosa.

Dê como resposta a soma dos números associados às proposições corretas. 2. 02 + 08 = 10

3. Considere uma reação química reversível em que duas substâncias se transformam em uma.

a. Das ilustrações apresentadas a seguir, qual é a que melhor representa essa transformação no equilíbrio químico? Justifique.

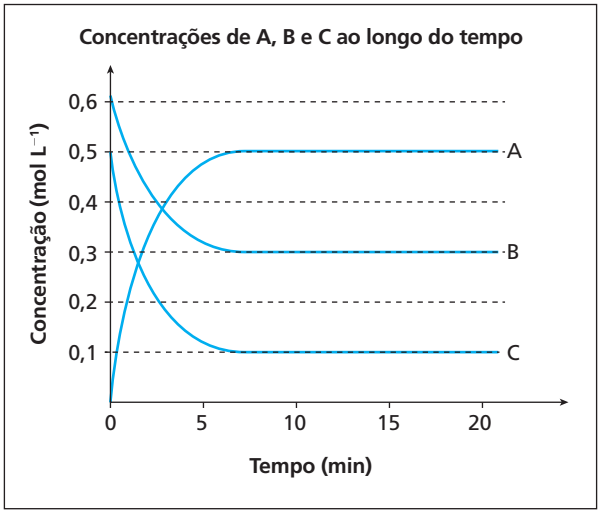


ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

(Imagens sem escala; cores-fantasia.)

b. Suponha que, para essa mesma reação, um novo equilíbrio químico seja estabelecido a uma temperatura diferente, com um rendimento maior. Faça uma ilustração que represente essa nova situação.

4. Durante uma reação química genérica, determinaram-se ao longo do tempo as concentrações das substâncias A, B e C envolvidas e obteve-se o gráfico a seguir.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Variação da concentração das substâncias A, B e C ao longo do tempo.

Continua

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Analise o gráfico e, então:

a. determine a equação química que representa essa transformação.

b. faça uma ilustração, de acordo com o modelo atômico de Dalton, que represente o sistema reacional em $t = 0$ e $t = 10$ min.

c. indique se a reação apresenta bom rendimento ou não. Justifique.

5. Os dados a seguir foram obtidos para a decomposição do pentóxido de dinitrogênio (N_2O_5) a 80 °C.

$$2\ N_2O_5(g) \rightleftharpoons 4\ NO_2(g) + O_2(g)$$

t (min)	$[N_2O_5]$ (mol L^{-1})
0	1,000
1	0,705
2	0,497
3	0,349
4	0,246
5	0,173
6	0,130
7	0,131
8	0,129
9	0,130

a. Sabendo que inicialmente só havia N_2O_5 no sistema reacional e considerando o valor médio de concentração de N_2O_5 no equilíbrio, calcule o valor de K_c para essa reação. Você pode utilizar uma planilha eletrônica para o cálculo do valor médio da concentração.

b. Com base no valor de K_c da reação direta obtido no item anterior, determine o valor aproximado da constante de equilíbrio da reação inversa ($K_{c'}$).

6. Analise a equação química que representa a combustão do gás metano dada a seguir e explique o que acontece com o sistema em equilíbrio quando diminuímos o volume do recipiente, aumentando sua pressão total.

$$CH_4(g) + 2\ O_2(g) \rightleftharpoons CO_2(g) + 2\ H_2O(g)$$

7. (Unicamp-SP) Íons como Cu^{2+}, Fe^{3+} e Fe^{2+}, presentes em certos alimentos, como por exemplo maionese, podem causar a sua deterioração através da formação de peróxidos. Para evitar esse problema, em alguns alimentos industrializados pode ser adicionada uma substância que complexa (reage com) esses íons, impedindo a sua ação. Essa substância, genericamente conhecida como "EDTA", é adicionada na forma de seu sal de sódio e cálcio. A reação que ocorre entre os íons "indesejáveis" e o "EDTA" adicionado pode ser representada pela equação:

$$CaEDTA^{2-} + Me^{n+} \rightleftharpoons MeEDTA^{n-4} + Ca^{2+}$$

Os valores dos logaritmos das constantes de equilíbrio para as reações de complexação desses íons com EDTA são:

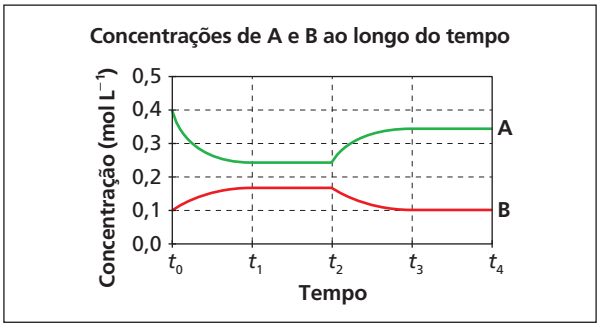
Me^{n+}	$^*\log K_{eq}$
Fe^{2+}	14,4
Cu^{2+}	18,8
Fe^{3+}	25,1

$^*\log_a a^x = x$

a. Qual dos íons Me^{n+} será removido com mais eficiência? Justifique.

b. Escreva a equação química que representa a reação entre $CaEDTA^{2-}$ e o íon escolhido no item (a) da questão.

8. O gráfico a seguir ilustra a variação da concentração em função do tempo para a reação 2 A(g) ⇌ B(g). Sabendo que em t_2 a temperatura foi elevada, explique se a reação é endotérmica ou exotérmica.



Variação das concentrações de A e B ao longo do tempo.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Reflita sobre seu aprendizado!

Registre em seu caderno

Agora que o trabalho com esta unidade foi finalizado, é o momento de você refletir sobre seu aprendizado e identificar novos interesses para continuar aprendendo. Para isso, analise e responda às questões a seguir.

- Retome as questões da seção **Pense nisso!**, na abertura da unidade, e avalie se você concorda com suas respostas anteriores depois das discussões realizadas ao longo do estudo dos capítulos. Reescreva-as, se for necessário.
- O que você aprendeu acerca dos assuntos abordados nesta unidade?
- Quais assuntos/atividades geraram mais dificuldades para sua aprendizagem? Como você superou essas dificuldades?
- Reveja os pontos que deixaram dúvidas e que não foram bem compreendidos. Converse sobre eles com os colegas e o professor a fim de planejarem outras possíveis estratégias de estudo.
- O que mais você gostaria de saber sobre os conteúdos abordados nesta unidade?

EDUCAÇÃO MIDIÁTICA

Diversificando fontes de informação

Se por um lado a internet nos conecta a uma infinidade de dados e perspectivas, por outro, pode nos aprisionar em "bolhas informacionais", nas quais sempre somos expostos aos mesmos tipos de conteúdo. Para ampliarmos nossa visão de mundo, é fundamental buscarmos ativamente informações de diferentes fontes, evitando nos limitarmos a um único veículo de comunicação ou a um único grupo social nas redes sociais.

Ao consultarmos fontes confiáveis, podemos comparar as informações e ter uma visão mais abrangente sobre um determinado tema. Isso nos permite identificar contradições, inconsistências e possíveis vieses, construindo um conhecimento mais sólido e crítico.

A diversificação de fontes também nos expõe a **diferentes perspectivas e pontos de vista**, enriquecendo nossa compreensão da realidade. Ao entrarmos em contato com dados e relatos distintos da realidade, podemos repensar nossas próprias convicções e construir um senso crítico mais apurado.

Para isso, é necessário dedicar-se a conhecer fontes de informação diferentes, a fim de comparar abordagens distintas acerca de um mesmo tema. Ao termos contato com perspectivas diferentes da realidade acerca de um mesmo assunto, temos condição de avaliá-lo com mais profundidade e, consequentemente, construir uma visão mais justa sobre um determinado contexto, justamente porque conhecemos e levamos em conta suas várias nuances para elaborar uma opinião mais cuidadosa.

Ao diversificarmos nossas fontes de informação, abrimos caminho para uma leitura mais profunda e crítica da realidade, tornando-nos cidadãos mais conscientes, capazes de fazer escolhas melhores, e engajados na construção de um mundo mais justo e informado.

Para aprofundarmos nossa reflexão sobre isso, vamos analisar trechos de duas notícias que tratam da relação da sociedade com a água na atualidade:

Texto I

Desperdício de água no Brasil poderia abastecer toda a população do Rio Grande do Sul

"O Brasil entra em alerta para o desperdício de água. Levantamento do Instituto Trata Brasil (ITB) mostra que o país não controla de maneira eficiente o uso do recurso natural no país.

Com base em dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), o estudo demonstra que a água potável, perdida em diversas operações, abasteceria toda população do Rio Grande do Sul, 10,6 milhões de pessoas, por no mínimo 5 anos.

Cerca de 32 milhões de brasileiros sofrem com a ausência de água tratada no Brasil. Em paralelo, o índice de perdas na distribuição totaliza 38% de desperdício, antes de chegar às residências em todo território nacional.

O Brasil desperdiçou, somente em 2022, cerca de 7,0 bilhões de metros cúbicos, equivalente a 7.636 piscinas olímpicas de água tratada.

A falha na distribuição pode ser motivada por vários fatores, como por exemplo, vazamentos, erros de medição e consumos não autorizados".

Fonte: FÉLIX, T. Desperdício de água no Brasil poderia abastecer toda a população do Rio Grande do Sul, diz estudo. **CNN Brasil**, 5 jun. 2024. Disponível em: https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/desperdicio-de-agua-no-brasil-poderia-abastecer-toda-populacao-do-rio-grande-do-sul-diz-estudo/. Acesso em: 16 set. 2024.

Texto II

Ribeirinhos precisam percorrer trajeto de uma hora para ter acesso à água potável em Porto Velho

Moradores da comunidade ribeirinha Mutum, localizada no Baixo Madeira, a 50 km da zona urbana de Porto Velho, precisam percorrer mais de 1 hora de barco para encontrar e ter acesso à água potável. Com a seca extrema do rio Madeira, o trajeto pode se tornar ainda mais desafiador.

As comunidades ribeirinhas em Porto Velho são divididas em três regiões: Alto, Médio e Baixo Madeira.

Severino Pantoja de Souza é um dos moradores que precisa buscar água potável em comunidades que possuem poços artesianos. Ele explica que o trajeto de barco dura, em média, mais de uma hora e que realiza esse percurso três vezes por semana.

"Eu trago 50 litros de água em cada viagem, mas não dura a semana toda. A gente faz esse trajeto umas três vezes por semana e, às vezes, até todo dia, porque usamos a água para beber e fazer comida", explica.

Severino Nobre, líder da comunidade Mutum, conta que nenhum morador possui poço artesiano ou outra fonte de água potável. Além disso, não é possível utilizar a água do rio Madeira devido à

Continua

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

poluição: a única solução é procurar comunidades que possuem abastecimento.

Fonte: MOREIRA, M. Ribeirinhos precisam percorrer trajeto de uma hora para ter acesso à água potável em Porto Velho. **G1**, 10 jul. 2024. Disponível em: https://g1.globo.com/ro/rondonia/noticia/2024/07/10/ribeirinhos-precisam-percorrer-trajeto-de-1-hora-de-barco-para-ter-acesso-a-agua-potavel-em-porto-velho.ghtml. Acesso em: 16 set. 2024.

Após ler os trechos anteriores, reúna-se com mais três ou quatro colegas e discutam a seguinte questão: "O que as reportagens nos permitem inferir sobre as possibilidades de abordar a temática 'água' na imprensa?".

Ampliação de repertório

Agora, para aprofundar nossa reflexão sobre as informações que acessamos, vamos diferenciar as abordagens das notícias e pensar de que forma elas se complementam, favorecendo a construção de um pensamento crítico sobre a água na atualidade.

1. Quais foram os focos, problemas e consequentes impactos apresentados pelas notícias?
2. Para ajudar a compreender as estratégias adotadas pelas notícias, relacione cada afirmação a seguir aos textos **I** ou **II**.
   - (⬛) Apresenta um panorama do assunto, recorrendo a dados estatísticos.
   - (⬛) Recorre à comparação para tornar os números apresentados mais significativos.
   - (⬛) Humaniza o problema com base no relato de cidadãos que foram diretamente afetados.
   - (⬛) É mais genérica, abordando a questão sob um ponto de vista quantitativo e abrangente.
   - (⬛) É mais específica, abordando a questão considerando a experiência de algumas pessoas que vivem em um território.
   - (⬛) Contribui para compreender os prejuízos ambientais e econômicos que envolvem o tema.
   - (⬛) Contribui para entender as dificuldades no acesso à água potável para consumo e higiene, impactando a saúde e a qualidade de vida das comunidades.
3. Explique de que forma as notícias se complementam e a quais conclusões elas nos permitem chegar sobre a relação da sociedade com a água.

Produção de conteúdo

Depois de explorar duas reportagens sobre água e a relação da sociedade com esse importante recurso natural, chegou a sua vez de produzir informação sobre esse tema em uma mídia sonora. Reúna-se novamente com seu grupo e produzam o roteiro de um *podcast*, de 8 a 18 minutos, com o tema "Água aqui e pelo mundo: desafios e soluções para um futuro sustentável". Siga os três passos descritos a seguir.

Introdução: apresentação dos participantes e seus papéis no *podcast*, considere:

- Moderador(a): conduz o *podcast* e garante o bom andamento da conversa.
- Convidado(a) 1: aborda os desafios da água na cidade ou região.
- Convidado(a) 2: aborda os desafios da água no Brasil.
- Convidado(a) 3: Discute os desafios da água no mundo.
- Convidado(a) especial: traz uma perspectiva complementar sobre o tema (opcional).
- Importante: cada convidado(a) deve buscar mais informações a respeito do seu tema, para construir uma fala de 2 a 3 minutos.

Desenvolvimento: cada convidado(a) expõe alguns desafios relacionados à água, com dados e exemplos concretos.

Conclusão: o(a) moderador(a) faz a recapitulação dos principais pontos do *podcast*, chamada para ação, com incentivo para que os ouvintes se engajem na luta pela água potável para todos e, por fim, agradecimento aos participantes e aos ouvintes.

Autoavaliação

Este espaço é destinado para reconhecer seus pontos fortes e oportunidades de melhoria em seu processo de aprendizagem. Anote em seu caderno o nível de desempenho para cada critério listado a seguir. Combine previamente com o professor o que é esperado para os níveis de desempenho: avançado, adequado, básico e iniciante. Seguem os critérios adotados para essa proposta:

- Comparar diferentes abordagens e intencionalidades em textos noticiosos.
- Explorar diferentes estratégias discursivas na produção da notícia e seus efeitos na audiência.
- Refletir sobre a importância de recorrer a diferentes fontes de informação para compreender a realidade em sua complexidade.
- Criar informação com base em múltiplas fontes de informação e perspectivas.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

UNIDADE 4

TRANSFORMAÇÕES E MOVIMENTOS

MARCO TACCA/ANADOLU/GETTY IMAGES

Carros do automobilismo esportivo utilizam combustível especial e materiais poliméricos em sua composição. Lewis Hamilton pilotando carro de alta velocidade na Itália, 2024.

O tema desta unidade também é trabalhado nos volumes de Biologia e de Física desta coleção.

No automobilismo esportivo, utiliza-se uma gasolina especialmente desenvolvida para carros de alta velocidade, que otimiza a combustão nos motores, proporcionando melhor rendimento. No entanto, a utilização de combustíveis de alto desempenho também levanta preocupações relacionadas à poluição atmosférica, em razão das substâncias emitidas na sua combustão. Visando minimizar o impacto ambiental, algumas modalidades de automobilismo esportivo optaram por misturar à gasolina 10% de etanol, um combustível renovável. Além disso, materiais poliméricos mais leves e resistentes são usados em componentes do veículo a fim de melhorar a aerodinâmica e a eficiência. Além disso, a Química também desempenha um importante papel nos testes *antidoping*, que garantem a integridade dos competidores desse esporte.

Nesta unidade, vamos estudar a composição e as características físico-químicas dos hidrocarbonetos e a relação do uso de combustíveis fósseis com fenômenos como a chuva ácida. Por fim, vamos abordar características estruturais de compostos orgânicos, incluindo as substâncias químicas utilizadas no *doping*, e as propriedades de materiais poliméricos utilizados no esporte.

Pense nisso!

Registre em seu caderno

1. A lenha é um dos combustíveis mais antigos que existem. Após ser queimada, transforma-se em cinzas, que possuem uma massa inferior à da lenha inicial. Por que isso acontece?
2. Quais são os principais produtos formados durante a queima de combustíveis fósseis e de que forma eles impactam o ambiente?
3. O *doping* é um problema presente nos esportes e está vinculado aos avanços tecnológicos e científicos. O que você sabe a respeito?
4. Os termos "plástico" e "polímero" são sinônimos?

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

A abertura proposta apresenta o uso de gasolina especial e de materiais poliméricos no automobilismo esportivo para otimizar o desempenho dos veículos, e aborda as preocupações ambientais e a relevância da Química nos testes *antidoping*. O trabalho em conjunto dos componentes curriculares da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias se dá pelo debate sobre os impactos ambientais decorrentes do uso de combustíveis de origem fóssil e sobre as estratégias possíveis para minimizá-los.

Capítulo 13

Hidrocarbonetos

Nas primeiras décadas do século XX, o Brasil não produzia gasolina e, por isso, importava esse combustível principalmente dos Estados Unidos. A utilização de gasolina cresceu à medida que a frota de veículos no país aumentava, especialmente nas grandes cidades, como São Paulo e Rio de Janeiro.

A importação de gasolina teve redução somente após a construção da refinaria de petróleo Riograndense, que iniciou suas operações em 1937, na cidade de Rio Grande (RS).

A fundação da Petrobras ocorreu em 1953, como parte da política de exploração de petróleo no território brasileiro, sob o *slogan* "O petróleo é nosso.".

A gasolina é uma mistura obtida a partir da destilação fracionada do petróleo, um combustível fóssil – ou seja, formado pela decomposição de organismos vivos ao longo de milhões de anos. Essa mistura pode ter diferentes composições, o que gera diferentes tipos de gasolina: comum, aditivada e *premium*.

Neste capítulo, conheceremos um pouco mais sobre os **hidrocarbonetos**, principal tipo de substância presente nesses combustíveis. A análise de suas formas de representação nos permite compreender suas propriedades físicas e químicas.

JOA SOUZA/SHUTTERSTOCK

No Brasil, os postos de combustíveis vendem três tipos de gasolina: comum, aditivada e *premium*. As três contêm misturas diferentes de hidrocarbonetos, tema principal deste capítulo.

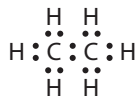
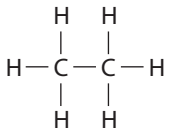
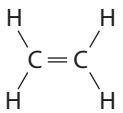
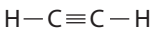
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Hidrocarbonetos e suas formas de representação

Os conceitos essenciais que envolvem a representação dos elétrons na camada de valência proposta por Lewis e as ligações químicas covalentes são abordados no capítulo 2.

Os combustíveis fósseis, como o petróleo, contêm substâncias cujas moléculas são formadas apenas por átomos de carbono e de hidrogênio, os **hidrocarbonetos**. A tabela a seguir mostra alguns exemplos dessas substâncias, representadas de diferentes formas. As fórmulas moleculares, embora também sejam utilizadas em Química Orgânica, têm uso limitado, já que não evidenciam as semelhanças e diferenças estruturais necessárias à compreensão das propriedades físicas e da reatividade dos compostos orgânicos, diferentemente das representações associadas à fórmula de Lewis e à fórmula estrutural plana.

Diferentes fórmulas químicas para alguns hidrocarbonetos

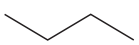
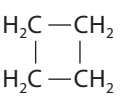
Nome da substância e fórmula molecular	Fórmula de Lewis	Fórmula estrutural plana
Etano C_2H_6		
Eteno C_2H_4		
Etino C_2H_2		

Observe que, em todos os casos apresentados na tabela, há quatro pares de elétrons compartilhados para cada átomo de carbono, ou seja, quatro ligações químicas covalentes – diz-se que o carbono é tetravalente. No entanto, elas podem se distribuir de três maneiras diferentes:

- ligações simples (como a ligação entre os átomos de carbono no etano);
- ligações duplas (como as ligações entre os átomos de carbono no eteno);
- ligações triplas (como as ligações entre os átomos de carbono no etino).

Uma das características mais importantes do carbono é sua capacidade de se ligar a outros átomos de carbono, formando estruturas chamadas **cadeias carbônicas**. A escolha da representação mais adequada deve ser feita de acordo com o que se deseja demonstrar – tipo de ligação química entre os átomos ou disposição espacial, por exemplo –, buscando-se sempre utilizar a forma mais simples possível. No quadro a seguir, há mais alguns exemplos de hidrocarbonetos.

Tipos de fórmula estrutural plana de alguns hidrocarbonetos

Nome da substância	Fórmula estrutural plana parcialmente condensada	Fórmula estrutural plana simplificada
Propeno	$H_2C=CH-CH_3$	
Ciclopropeno		
Butano	$H_3C-CH_2-CH_2-CH_3$	
Ciclobutano		

Na **fórmula estrutural plana**, cada traço representa um par de elétrons compartilhado entre os átomos do composto. Como nesse tipo de representação todos os traços estão paralelos ao plano do papel, ele não considera o arranjo tridimensional dos átomos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Na **fórmula estrutural plana simplificada**, também chamada de **fórmula de linha** ou **traço de ligação**, é omitido o símbolo do elemento químico carbono, assim como o dos átomos de hidrogênio ligados a ele. Nessa representação, cada vértice e cada extremidade representam um átomo de carbono, como demonstrado para os compostos apresentados no quadro anterior.

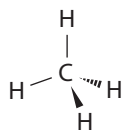
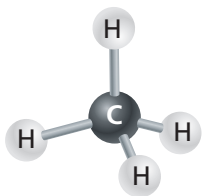
Na **fórmula estrutural plana parcialmente condensada**, são omitidas as ligações covalentes envolvendo os átomos de hidrogênio ligados a átomos de carbono ou a qualquer outro elemento químico. Para algumas moléculas, ainda é possível escrever uma **fórmula estrutural plana totalmente condensada**, em que nenhuma ligação covalente é evidenciada, como é o caso das representações dos compostos de cadeia aberta (acíclica) a seguir:

H_2CCHCH_3	$H_3C(CH_2)_2CH_3$
Propeno	Butano

Além das fórmulas planas apresentadas, é comum que se utilizem algumas representações espaciais para as moléculas orgânicas.

Usando as estruturas representadas no quadro, esclareça aos estudantes que a cunha cheia representa as ligações que se projetam para cima do plano do papel, enquanto a cunha tracejada representa aquelas que se projetam para baixo do plano do papel.

Representações espaciais da molécula de metano (CH_4)

Fórmula estrutural estereoquímica	Modelo de esferas e bastões	Modelo de espaço preenchido
		

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

A **fórmula estrutural estereoquímica** indica a tridimensionalidade da molécula por meio de representações chamadas de **cunha**.

O **modelo de esferas e bastões** fornece informações sobre a disposição espacial dos átomos e os ângulos de ligação. As ligações são representadas por bastões, e os átomos, por esferas.

No **modelo de espaço preenchido**, além da informação sobre o formato tridimensional da molécula, procura-se respeitar as proporções entre os volumes ocupados pelos átomos. Os átomos são representados por esferas interligadas.

Hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos

Os termos **alifático** e **aromático**, empregados desde o século XIX para classificar os hidrocarbonetos, referiam-se à origem dos compostos à época. Os alifáticos eram encontrados em óleos e gorduras (*aleiphar*, em grego), e os aromáticos, em óleos essenciais de odor agradável, provenientes de algumas plantas de utilidade medicinal. Considerando as fontes discutidas, o petróleo é rico em hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos; o carvão, em hidrocarbonetos aromáticos; e o gás natural, em hidrocarbonetos alifáticos gasosos.

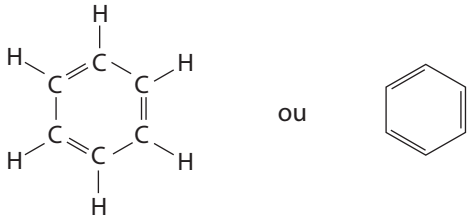
Os hidrocarbonetos alifáticos podem ser de **cadeia carbônica aberta**, como o butano; ou de **cadeia fechada** (cíclica), como o ciclobutano. Eles também podem ser **saturados**, como o etano; ou **insaturados**, como o eteno e o etino. Essas características afetam a reatividade desses compostos, conforme será visto posteriormente.

Em função de sua estrutura, os hidrocarbonetos alifáticos saturados são classificados em **alcanos** e **cicloalcanos**. Já os hidrocarbonetos alifáticos insaturados são classificados em **alcenos** e **cicloalcenos**, que se caracterizam pela presença de uma ligação dupla entre átomos de carbono; e em **alcinos** e **cicloalcinos**, que se caracterizam pela presença de uma ligação tripla.

Os **hidrocarbonetos aromáticos** incluem compostos cíclicos planos cujas estruturas eletrônicas fornecem grande estabilidade às moléculas. Um composto desse tipo é o benzeno, que apresenta cadeia fechada com seis átomos de carbono ligados entre si por ligações simples e duplas, alternadamente. Entretanto, análises experimentais revelam que no benzeno a distância entre os átomos de carbono é igual em toda a estrutura. Em outras moléculas, é observado que a ligação simples é maior que a ligação dupla. Isso indica que, no anel benzênico, elétrons compartilhados apresentam certa mobilidade pela

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

molécula, sendo chamados de **elétrons deslocalizados**. Esse fenômeno é responsável por algumas características moleculares típicas apresentadas por compostos derivados do benzeno, como maior estabilidade termodinâmica em comparação aos compostos cíclicos correspondentes.

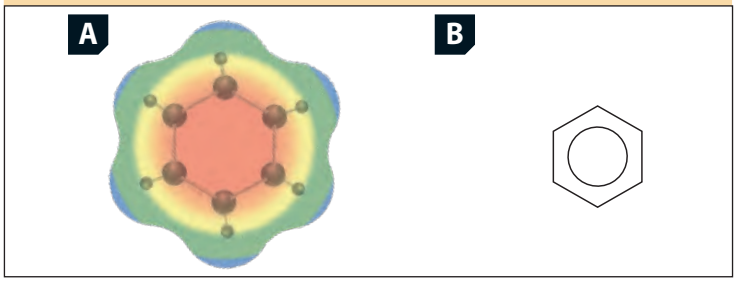


Fórmulas estruturais do benzeno.

Se julgar conveniente, apresente neste momento exemplos das fórmulas estruturais de outros compostos aromáticos, como a piridina e o naftaleno. Explique que o termo **aromático** não significa que esses compostos necessariamente têm odor.

A figura A, a seguir, mostra a representação do mapa de potencial eletrostático do benzeno, no qual a coloração avermelhada indica a região de maior densidade eletrônica da molécula. A região destacada pela coloração vermelha está distribuída entre todos os átomos de carbono da molécula e revela a presença de elétrons deslocalizados, além de explicar a similaridade do comprimento apresentado pelas ligações entre eles. Para indicar essa característica, a estrutura do benzeno pode ser representada por um círculo inscrito em um hexágono (figura B).

Densidade eletrônica e estrutura do benzeno



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: BRUICE, P. Y. **Química orgânica**. 4. ed. São Paulo: Pearson Education, 2003.

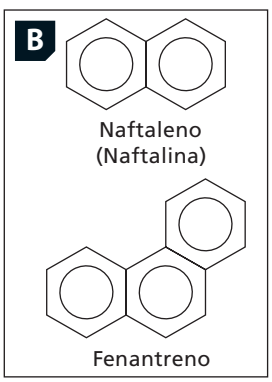
(A) Mapa de potencial eletrostático. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)
(B) Fórmula estrutural plana simplificada do benzeno.

Obtenção de hidrocarbonetos

O gás natural é uma mistura que apresenta como principais constituintes o metano (CH_4), o etano (C_2H_6) e o propano (C_3H_8), sendo o metano o componente majoritário, com teor acima de 70% em volume. O gás natural geralmente não passa por processos de separação de misturas, sendo empregado diretamente como combustível em automóveis, residências e indústrias.

Os compostos aromáticos são obtidos principalmente do alcatrão, mistura que pode ser produzida por meio da **pirólise** (destilação seca) de um tipo de carvão mineral denominado **hulha**. Além do benzeno, são encontrados no alcatrão os chamados **hidrocarbonetos policíclicos aromáticos**, como o naftaleno e o fenantreno.

MARTYN F. CHILLMAID/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA



(A) O alcatrão é um líquido escuro e viscoso composto de um número muito grande de substâncias. **(B)** Fórmulas estruturais do naftaleno e do fenantreno, compostos que também são extraídos do alcatrão.

Refino e craqueamento do petróleo

Se possível, resgate os conceitos sobre mistura homogênea e destilação fracionada e a importância da coluna de fracionamento e do controle da temperatura.

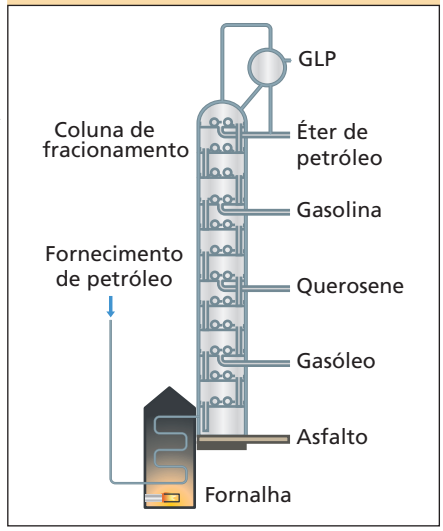
A maioria dos hidrocarbonetos é obtida direta ou indiretamente do petróleo. Depois da extração, o petróleo é encaminhado às refinarias, quase sempre através de oleodutos e sistemas de bombeamento. Ao chegar às refinarias, ele é armazenado em tanques, de onde parte para ser processado.

Na refinaria, o petróleo é aquecido em um forno até cerca de 400 °C, temperatura em que é parcialmente vaporizado, e, em seguida, direcionado para uma **coluna de destilação fracionada** (coluna de fracionamento), composta de várias seções na forma de bandejas.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

As primeiras frações do petróleo destilado, recolhidas no topo da coluna de fracionamento, correspondem aos compostos mais voláteis. As frações de maior temperatura de ebulição permanecem ainda líquidas na base da coluna. A figura a seguir indica a composição típica das frações obtidas na destilação fracionada do petróleo.

Coluna de destilação fracionada de petróleo



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em CHANG, R.; GOLDSBY, K. **Chemistry**. 12th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2016.

Representação esquemática simplificada em corte de torre de destilação fracionada de petróleo. As frações indicadas correspondem às da tabela da página a seguir. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Cada fração do petróleo é ainda uma mistura de hidrocarbonetos de composição variável, como mostra a tabela.

Composição típica das frações obtidas na coluna de fracionamento do petróleo

Número de átomos de carbono na molécula de hidrocarboneto	Temperatura de ebulição (°C) a 1 atm	Frações
C_1-C_4	< 30	Gás liquefeito de petróleo (GLP), gás natural, metano, propano, butano
C_5-C_7	20-100	Éter de petróleo ($C_{5,6}$), ligroína (C_7)
C_5-C_{10}	40-200	Gasolina
C_{12}-C_{15}	200-300	Querosene, óleo de aquecedores
C_{15}-C_{25}	300-400	Gasóleo, óleo diesel, óleo lubrificante, graxas, asfalto
> C_{25}	> 400	Óleo residual, parafina, asfalto (piche)

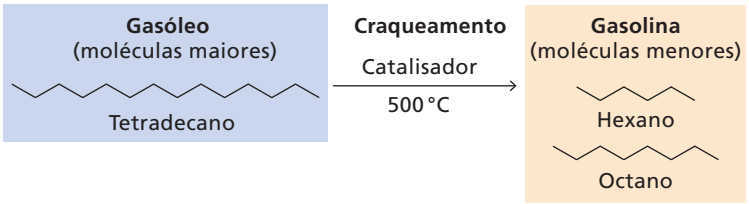
Fonte: elaborado com base em VOLLHARDT, P.; SHORE, N. **Química orgânica**: estrutura e função. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013; SOLOMONS, T. W. G.; FRYHLE, C. B.; SNYDER, S. A. **Solomons' Organic Chemistry**. 12th ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2017.

Alguns materiais que compõem as frações do petróleo.

A análise da tabela permite verificar que há uma relação entre a quantidade de átomos de carbono presentes nas moléculas dos hidrocarbonetos componentes e a temperatura de ebulição da mistura: quanto maior o número de átomos de carbono, mais elevada é a temperatura de ebulição. As frações formadas de moléculas menores, ou seja, com menos átomos de carbono, são chamadas de **frações leves** e são obtidas na parte superior da coluna de fracionamento (GLP e gasolina, por exemplo). Já as **frações pesadas** são formadas por moléculas maiores, correspondem às substâncias de maior temperatura de ebulição e são obtidas nos níveis mais baixos da coluna de fracionamento (óleo lubrificante, por exemplo). Os resíduos da coluna de fracionamento fornecem materiais como o asfalto, para pavimentação, e as parafinas, para a confecção de velas, por exemplo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Outro método de obtenção de hidrocarbonetos é o **craqueamento** do petróleo (do inglês *cracking*, que significa "quebra"). Ele consiste na transformação de moléculas de frações mais pesadas – que correspondem geralmente ao gasóleo e ao querosene – em moléculas menores e de maior interesse comercial, como as que formam a gasolina. O procedimento esquematizado a seguir, para um dos componentes do gasóleo, é executado em alta temperatura e com a ajuda de catalisadores específicos, os quais aumentam a rapidez das reações químicas.



Representação esquemática do craqueamento do tetradecano ($C_{14}H_{30}$) para a obtenção de hexano (C_6H_{12}) e octano (C_8H_{18}).

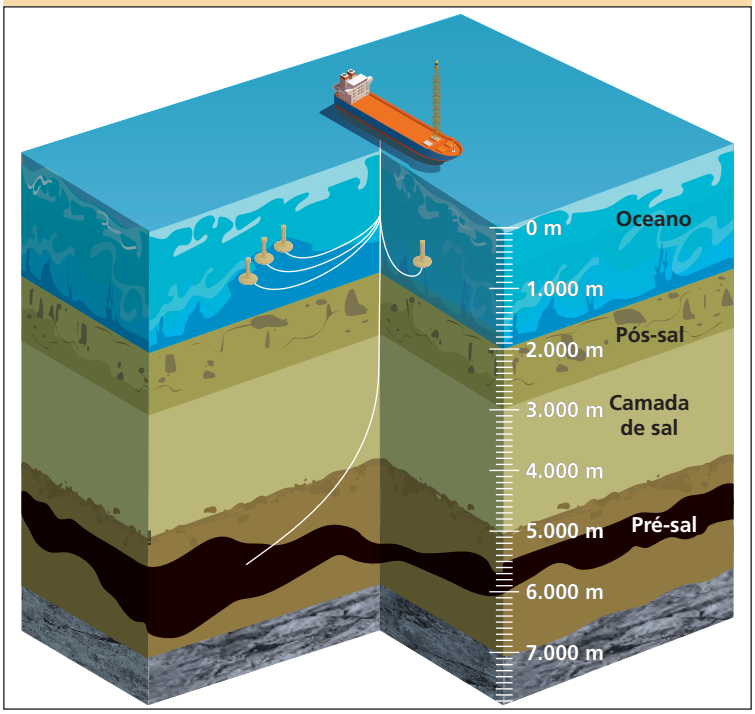
Esse processo é amplamente utilizado em todo o mundo, uma vez que a demanda de gasolina em vários países é superior à de óleos combustíveis.

Composição da gasolina

A maior parte do petróleo brasileiro é do tipo "pesado", mais denso e mais difícil de refinar. Então, as refinarias precisam misturar o petróleo nacional com o petróleo "leve", menos denso, importado de outros países, para facilitar o refino. No entanto, o petróleo "pesado" é mais barato (ou seja, tem menor valor agregado) que o "leve". Isso significa que vendemos mais barato e pagamos mais caro.

Um marco importante para a obtenção de petróleo no Brasil foi a identificação da camada de **pré-sal** em território nacional, anunciada em 2006. O pré-sal é uma jazida de petróleo e gás natural localizada em profundidades de 5 km a 7 km abaixo do nível do mar, sob a camada de 2 km de sal, como representado na figura a seguir. Com base nos resultados obtidos mediante perfurações de poços, as rochas do pré-sal se estendem por uma faixa de 800 km ao longo do litoral brasileiro, desde Santa Catarina até o Espírito Santo, que chega a atingir 200 km de largura.

Perfil oceânico e geológico ao redor da camada pré-sal



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: A GEOLOGIA do pré-sal. Petrobrás. Disponível em: https://www.petrobras.com.br/pre-sal#4500m. Acesso em: 22 jul. 2024.

Representação esquemática do perfil oceânico e geológico ao redor da camada pré-sal. Abaixo do oceano, há uma camada denominada pós-sal, que, geologicamente, foi formada após a camada de sal. O pré-sal, por sua vez, formou-se antes da camada de sal. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

O petróleo do pré-sal tem menor densidade e menor teor de enxofre em comparação com o petróleo de regiões de menor profundidade do pós-sal, o que o torna mais valioso. Essa diferença de qualidade ocorre porque a temperatura nas profundezas do pré-sal não permite a proliferação de bactérias que degradam as frações mais leves, das quais se extraem a gasolina e o diesel.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Composição média de hidrocarbonetos na gasolina

Componente	Fração volumétrica (%)
Hidrocarbonetos saturados	39,2 – 55,7
Hidrocarbonetos olefínicos	16,9 – 25,8
Hidrocarbonetos aromáticos	17,0 – 21,5
Outros	10,5 – 12,9

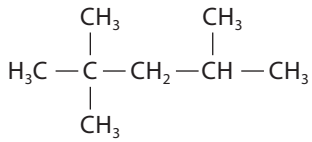
Fonte: elaborado com base em CARVALHO, F. I. M.; DANTAS FILHO, H. A. Estudo da qualidade da gasolina tipo A e sua composição química empregando análise de componentes principais. **Química Nova**, v. 37, n. 1, p. 33-38, 2014.

Fração volumétrica (%) dos componentes da gasolina.

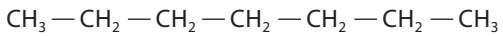
A gasolina apresenta em sua composição uma mistura de hidrocarbonetos. Outras espécies químicas contendo íons metálicos e átomos de nitrogênio, enxofre e oxigênio, em baixas concentrações, também são encontradas na gasolina, assim como certa quantidade de etanol anidro que é adicionada.

De acordo com a tabela, observa-se que os hidrocarbonetos saturados tendem a predominar na composição da gasolina. Já os hidrocarbonetos olefínicos (hidrocarbonetos insaturados) e aromáticos (que contêm pelo menos um anel aromático) tendem a apresentar percentuais menores.

A **octanagem**, ou o índice de octanos (hidrocarbonetos não aromáticos com oito átomos de carbono), na gasolina expressa sua qualidade, e não sua composição química. Quanto maior o índice de octanos, melhor é a qualidade da gasolina, pois ela resiste a maiores compressões sem detonação prematura, o que levaria à combustão incompleta. Quando se diz que uma gasolina tem, por exemplo, octanagem 80, significa que a mistura dessa gasolina com o ar no motor de explosão resiste à mesma compressão sem detonação que uma mistura de 80% de 2,2,4-trimetilpentano (também conhecido como iso-octano, C_8H_{18}) e 20% de heptano (C_7H_{16}).



2,2,4-trimetilpentano (iso-octano)



Heptano

As cadeias do 2,2,4-trimetilpentano (iso-octano) e do heptano são exemplos de cadeias **ramificadas** e **não ramificadas** (lineares), respectivamente.

No Brasil, são vendidos três tipos de gasolina nos postos de combustíveis. As gasolinas comum e aditivada têm o mesmo índice de octanagem: 87 octanas. A gasolina aditivada difere-se da comum pela adição de aditivos químicos que ajudam a remover impurezas internas do motor. Já a gasolina *premium* apresenta octanagem um pouco superior à comum, 91 octanas, o que permite melhor desempenho a motores mais potentes.

Nomenclatura sistemática dos hidrocarbonetos de cadeia linear

Prefixo	Infixo	Sufixo
1 = met	an = apenas ligações simples	Representado pela letra "o", no caso dos hidrocarbonetos
2 = et	en = presença de uma ligação dupla entre átomos de carbono	
3 = prop		
4 = but		
5 = pent	in = presença de uma ligação tripla entre átomos de carbono	
6 = hex		
7 = hept		
8 = oct		
9 = non		
10 = dec		

Fonte: elaborado com base em PANICO, R. *et al*. **Guia IUPAC para a nomenclatura de compostos orgânicos**. Tradução portuguesa, nas variantes europeia e brasileira: José Augusto Rosário Rodrigues *et al*. Lisboa: Lidel, 2002.

Nomenclatura dos hidrocarbonetos alifáticos

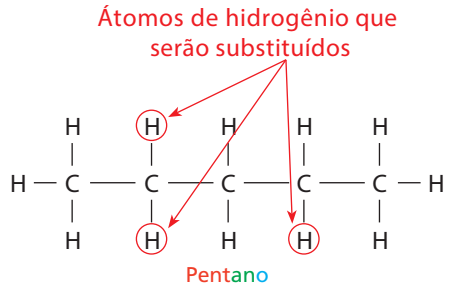
Cada composto orgânico apresenta uma nomenclatura sistemática própria definida segundo um conjunto de regras e normas estabelecidas pela União Internacional de Química Pura e Aplicada (em inglês, *International Union of Pure and Applied Chemistry* – IUPAC). Compreender a morfologia da nomenclatura sistemática permite identificar com segurança o composto ao qual ela se refere. Usaremos, sempre que possível, a nomenclatura preferencial, de acordo com a IUPAC, e indicaremos entre parênteses possíveis alternativas.

De forma geral, os nomes sistemáticos dos hidrocarbonetos alifáticos de cadeia linear (dos quais deriva a nomenclatura de todos os demais compostos orgânicos) são formados pela junção de um **prefixo** indicando a quantidade de átomos de carbono na cadeia principal, de um **infixo** indicativo do tipo de ligação covalente entre esses átomos de carbono e do **sufixo** "o", que indica a classe funcional dos hidrocarbonetos, como em pentano. Entende-se por cadeia principal a maior sequência possível de átomos de carbono na cadeia carbônica, incluindo o máximo de insaturações (ligações duplas ou triplas entre átomos de carbono). Alguns prefixos e infixos estão descritos na tabela a seguir.

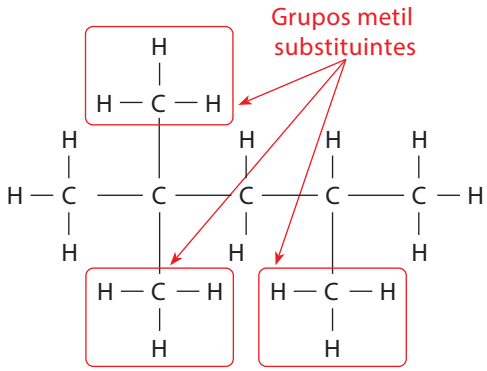
Relembre com os estudantes os prefixos de compostos orgânicos, apresentados no capítulo 8.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Para os hidrocarbonetos de cadeia aberta ramificados são necessárias mais algumas adições para obter a nomenclatura final. As ramificações também podem ser chamadas de **grupos substituintes**, embora nem todo grupo substituinte seja uma ramificação. O termo se refere a qualquer átomo ou grupo de átomos que substitui átomos de hidrogênio na **cadeia principal** do composto.



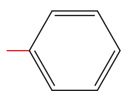
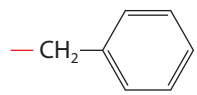
Pentano



2,2,4-trimetilpentano (iso-octano)

O nome do grupo substituinte e sua localização são indicados antes do nome da cadeia principal do composto. Alguns desses grupos estão representados no quadro a seguir.

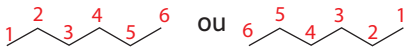
Alguns grupos orgânicos substituintes

Número de átomos de carbono	Fórmula estrutural e nome do grupo substituinte*				
1 a 3	$-CH_3$ Metil	$-CH_2-CH_3$ Etil	$-CH=CH_2$ Vinil	$-CH_2-CH_2-CH_3$ Propil	$-CH(CH_3)_2$ Isopropil
4	$-CH_2-(CH_2)_2-CH_3$ Butil	$-CH_2-CH(CH_3)-CH_3$ Isobutil	$-CH(CH_3)-CH_2-CH_3$ *Sec*-butil	$-C(CH_3)_3$ *Terc*-butil	
5	$-CH_2-(CH_2)_3-CH_3$ Pentil	$-CH_2-CH_2-CH(CH_3)-CH_3$ Isopentil	$-CH_2-C(CH_3)_3$ Neopentil	$-C(CH_3)_2-CH_2-CH_3$ *Terc*-pentil	
6 e 7	 Fenil		 Benzil		

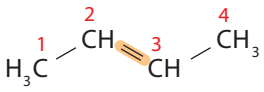
* Os nomes dos grupos substituintes terminados em "il" ganham a vogal terminal "a" (assumindo a terminação "ila") quando não são usados como prefixos.

Fonte: elaborado com base em PANICO, R. *et al*. **Guia IUPAC para a nomenclatura de compostos orgânicos**. Tradução portuguesa, nas variantes europeia e brasileira: José Augusto Rosário Rodrigues *et al*. Lisboa: Lidel, 2002.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Hexano  ou

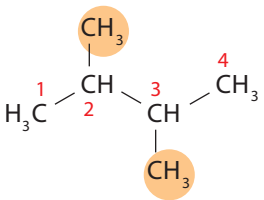
But-2-eno



Posição da insaturação: carbono 2

Tipo de insaturação: ligação dupla

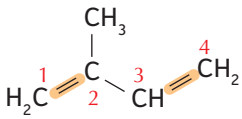
2,3-dimetilbutano



Posições dos substituintes: carbonos 2 e 3

Substituintes com um átomo de carbono: metil

2-metilbuta-1,3-dieno



Posição do substituinte: carbono 2

Substituinte com um átomo de carbono: metil

Tipos de insaturações: ligações duplas

Etino

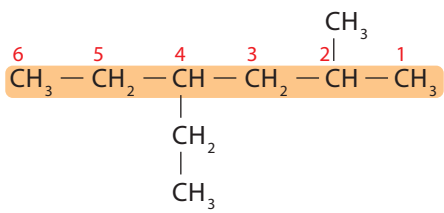
Tipo de insaturação: ligação tripla

Ao longo da cadeia principal, a localização dos grupos substituintes é identificada por números. A numeração deve ser iniciada na extremidade mais próxima a uma insaturação ou uma ramificação, nessa ordem de prioridade. Esse procedimento garante a atribuição dos **menores números possíveis** para indicar as posições de insaturação ou substituinte (ramificação). Nos casos de dois ou mais substituintes, usam-se os prefixos "di", "tri", "tetra", e assim por diante, para indicar a quantidade de substituintes. O quadro a seguir apresenta alguns exemplos de aplicação das regras de nomenclatura para os compostos: hexano; but-2-eno; 2,3-dimetilbutano; 2-metilbuta-1,3-dieno; e etino.

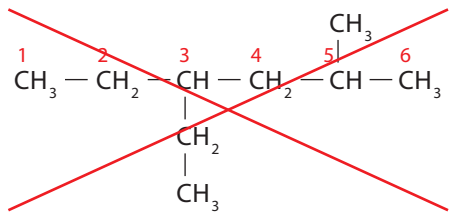
A numeração é indicada imediatamente antes do que se pretende localizar, por exemplo, na parte "2-en", que localiza uma ligação dupla entre os átomos de carbono 2 e 3 no but-2-eno. Os números são separados dos nomes por hífen e, entre si, por vírgula, como no 2-metilbuta-1,3-dieno. Existem casos em que só há uma posição possível para a insaturação, como ocorre com o etino. Neles, a numeração é omitida.

Como sugestão, dê mais exemplos associando a fórmula estrutural ao nome do hidrocarboneto, e vice-versa.

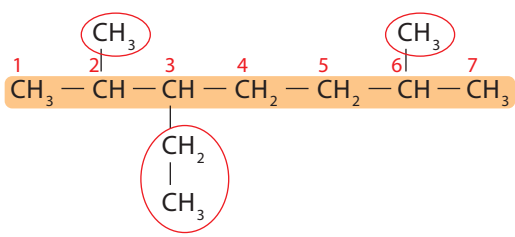
Havendo dois ou mais substituintes distintos, eles devem ser numerados a fim de que fiquem com o menor valor numérico possível e organizados em ordem alfabética, como no exemplo a seguir.



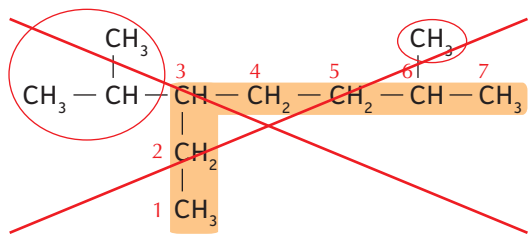
4-etil-2-metil-hexano



Se houver duas ou mais possibilidades de cadeia carbônica principal, deve ser escolhida e numerada aquela que contém a maior quantidade possível de substituintes.



3-etil-2,6-dimetil-heptano



No caso de compostos cíclicos, as regras de nomenclatura são as mesmas para os acíclicos. A única diferença é que ela se inicia com a palavra "ciclo" antes da quantidade de átomos de carbono presentes.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADE COMENTADA

Desenhar a fórmula estrutural da molécula do composto 1,3-dietilciclopentano.

Analisar o enunciado

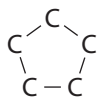
O problema requer construir a fórmula estrutural por meio da análise do nome do composto.

Selecionar as informações relevantes

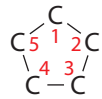
- O nome do composto apresenta "ciclo", que indica que a cadeia principal é fechada, e o prefixo "pent" indica que há 5 carbonos na cadeia principal.
- O infixo "an" indica que só há ligações simples na cadeia principal.
- A parte "1,3-dietil" indica que há dois grupos etil, um na posição 1 e outro na posição 3 da cadeia.

Aplicar o conceito estudado

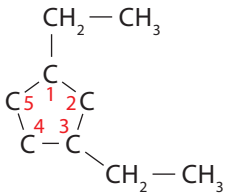
Desenhar uma cadeia fechada de ligações simples com 5 carbonos.



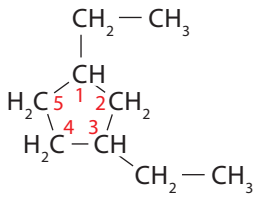
Numerar os carbonos da cadeia, que pode começar, de forma arbitrária, pelo carbono na parte superior da cadeia.



Inserir os grupos etil (—CH_2—CH_3) nas posições 1 e 3 da cadeia carbônica.



Adicionar o número de hidrogênios nos carbonos da cadeia principal a fim de completar sua tetravalência.



Verificar a solução

Para verificar se a fórmula estrutural está correta, basta, a partir dela, definir o nome do composto que deve ser igual ao indicado no enunciado.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Propriedades dos hidrocarbonetos

A determinação da polaridade das ligações químicas, associada à disposição espacial dos átomos (geometria molecular), permite definir a polaridade da molécula, o que possibilita prever diversas propriedades das substâncias e planejar, assim, sua aplicação.

Uma molécula pode apresentar ligação covalente polar em função da diferença de eletronegatividade entre os dois átomos que participam da ligação. Essa diferença torna a distribuição da densidade eletrônica assimétrica, resultando em dipolos elétricos, indicados por meio de vetores **momento de dipolo elétrico**, $\vec{\mu}$. Os vetores são caracterizados por sua direção, seu sentido e sua intensidade. Assim, a presença de ligações polares em uma molécula não indica que ela necessariamente é polar. Isso porque a geometria da molécula pode resultar em um vetor momento de dipolo elétrico resultante ($\vec{\mu}_r$) nulo.

As representações a seguir mostram alguns exemplos de moléculas orgânicas e suas polaridades. Nelas temos que, para o metano (A) e o tetraclorometano (B), a soma vetorial dos momentos de dipolo elétrico das ligações covalentes é:

$$\vec{\mu}_1 + \vec{\mu}_2 + \vec{\mu}_3 + \vec{\mu}_4 = 0$$

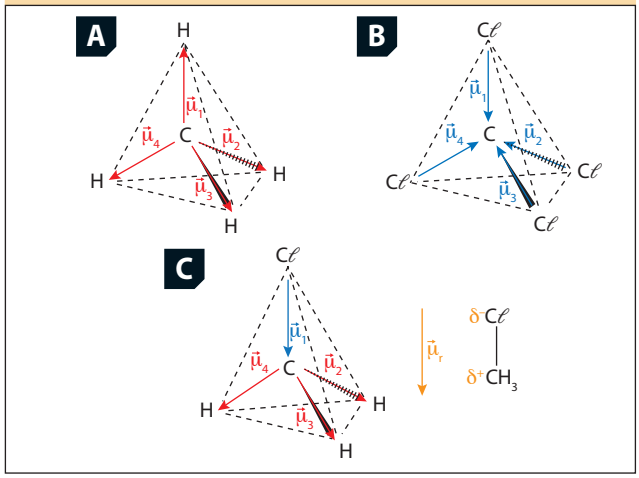
ou seja, nula, portanto, ambas são apolares. Ao passo que o vetor momento de dipolo resultante na molécula do clorometano (C) não é nulo:

$$\vec{\mu}_1 + \vec{\mu}_2 + \vec{\mu}_3 + \vec{\mu}_4 \neq 0$$

ou seja, a molécula forma um dipolo; portanto, ela é polar.

Durante a discussão, sugerimos chamar a atenção dos estudantes para a direção e o sentido do vetor momento de dipolo elétrico. Um estudo mais aprofundado da relação entre eletronegatividade, polaridade de ligações, geometria molecular, polaridade de moléculas e forças intermoleculares é abordado no capítulo 2.

Vetores momento dipolo elétrico em alguns compostos



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática dos vetores momento de dipolo elétrico das ligações químicas presentes nas moléculas de metano **(A)**, tetraclorometano **(B)** e clorometano **(C)**.

Hidrocarbonetos apresentam caráter essencialmente apolar, em razão das propriedades das ligações entre os átomos e da geometria das cadeias carbônicas. Isso resulta em um vetor momento de dipolo elétrico geralmente igual ou muito próximo de zero. Em consequência disso, as moléculas dos hidrocarbonetos interagem entre si sobretudo por meio de interações do tipo **dipolo instantâneo-dipolo induzido** ou **forças dispersivas de London**.

De acordo com o modelo que explica as forças dispersivas de London, essas interações resultam da modificação instantânea da densidade eletrônica ao redor dos núcleos, que temporariamente criam um dipolo capaz de induzir distorções nas nuvens eletrônicas de moléculas vizinhas. Dessa maneira, propaga-se o efeito, permitindo atrações fracas entre os polos opostos que surgem nas moléculas dos hidrocarbonetos.

Temperatura de ebulição

Como o petróleo é constituído de uma mistura de hidrocarbonetos, conhecer e prever as temperaturas de ebulição de seus componentes é essencial para que se tenha maior eficiência no processo de refino. A tabela a seguir apresenta as temperaturas de ebulição de alguns hidrocarbonetos saturados de cadeia linear.

Temperaturas de ebulição de hidrocarbonetos

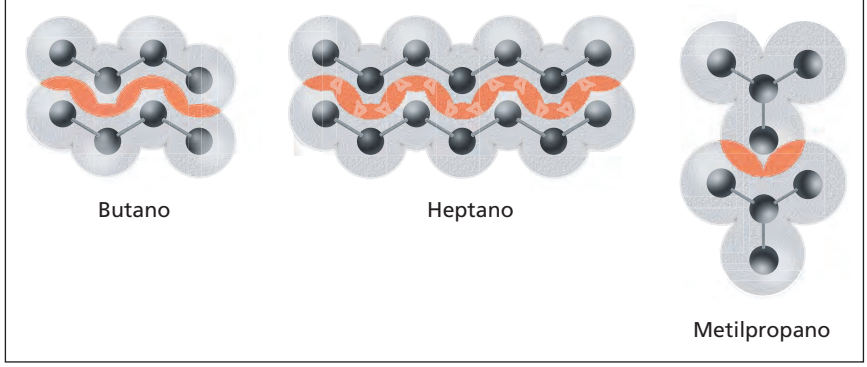
Hidrocarboneto	TE (°C)
Metano	–160,0
Propano	–42,2
Metilpropano	–10,2
Butano	–0,4
Pentano	36,0
Heptano	98,4

Fonte: elaborado com base em CAREY, F. A. *et al*. **Organic Chemistry**. 11th ed. New York: McGraw-Hill, 2019.

Valores de temperatura de ebulição (a 1 atm) de alguns hidrocarbonetos.

Observa-se que, de modo geral, as temperaturas de ebulição dos alcanos lineares aumentam progressivamente com o aumento do tamanho da cadeia carbônica, indicando a ocorrência de uma interação mais intensa entre as moléculas. Em geral, entre os hidrocarbonetos alifáticos de mesma fórmula molecular, aqueles formados por moléculas de cadeia linear apresentam temperaturas de ebulição maiores que os equivalentes de cadeia ramificada. A figura da página a seguir ajuda a compreender essas tendências.

Interações intermoleculares entre hidrocarbonetos



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em BROWN, T. L. *et al*. **Química**: a ciência central. 13. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2016.

Representação das cadeias carbônicas do butano, do heptano e do metilpropano (em que os átomos de hidrogênio foram omitidos), mostrando as densidades eletrônicas (em cinza) e as interações intermoleculares (em laranja). Quanto maior a área de interação intermolecular, maior a coesão entre as moléculas e a temperatura em que ocorre a transição de estado físico da substância. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Solubilidade e densidade

São relativamente comuns notícias sobre acidentes ambientais causados pelo derramamento de petróleo nos oceanos, como o que aconteceu no litoral do Nordeste brasileiro em 2019.

Acidentes como esse podem trazer sérios problemas à vida marinha, uma vez que o óleo não é solúvel em água, permanecendo na superfície. Isso impede, por exemplo, a passagem da luz solar, necessária para a fotossíntese da flora marinha. Segundo a Agência Nacional do Petróleo (ANP), em 2022, houve 62 acidentes em atividades envolvendo a extração de petróleo em alto-mar, com derramamento de mais de 200 mil litros.

A compreensão das propriedades físico-químicas, como solubilidade e densidade em água, é essencial em situações como essas, em que as autoridades responsáveis precisam definir as ações mais adequadas para, em um primeiro momento, conter e, posteriormente, remover as manchas de petróleo que contaminam os oceanos, atingem as praias e afetam todo o ecossistema marinho.

TIAGO CALDAS/FOTOARENA

Manchas de óleo na Praia da Pituba (Salvador, BA, 2019).

Os hidrocarbonetos alifáticos não se dissolvem de maneira significativa em água. O metano, por exemplo, apresenta solubilidade de 23 mg L^{-1} em água, e a solubilidade dos demais decresce ainda mais conforme aumenta a cadeia carbônica. Esse comportamento pode ser explicado pelo fato de serem formados por moléculas praticamente apolares, enquanto a água é constituída de moléculas polares. O mesmo raciocínio pode explicar a solubilidade dos hidrocarbonetos alifáticos em solventes orgânicos apolares, como o benzeno, e o que faz os componentes da gasolina formarem um sistema homogêneo.

A maioria desses compostos apresenta valores de densidade a 20 °C que variam de 0,5 g cm^{-3} a 0,8 g cm^{-3}. Assim como as temperaturas de ebulição, a densidade desses compostos se eleva com o aumento da cadeia carbônica.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

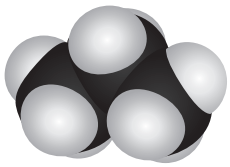
Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

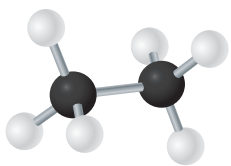
Registre em seu caderno

1. Considere as moléculas representadas a seguir (sem escala e em cores-fantasia).

a.



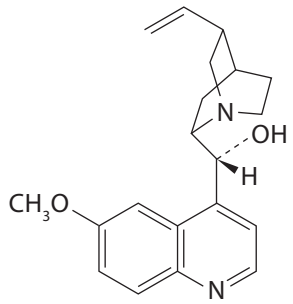
b.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Desenhe a fórmula estrutural plana da molécula do item **a** e a fórmula estrutural estereoquímica da molécula do item **b**.

2. No ano de 1630, no Peru, padres espanhóis utilizaram com sucesso a casca da árvore de cinchona para a cura da malária. A notícia do sucesso chegou à Europa, e a casca da cinchona se tornou o principal tratamento contra a malária. Considere a fórmula estrutural, apresentada a seguir, da molécula de quinina presente na casca da cinchona.



Fórmula estrutural da quinina.

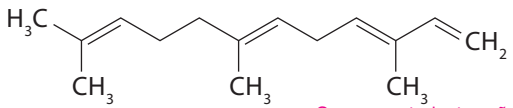
Do ponto de vista da Química Orgânica, a quinina pode ser classificada como um composto aromático? Justifique sua resposta.

Continua

Continuação

3. Analise a afirmação a seguir: "A destilação fracionada separa as frações do petróleo baseada em suas diferentes temperaturas de ebulição. Cada uma dessas frações, agora constituídas de substâncias puras, terá uma finalidade diferente, mas boa parte é de alguma maneira utilizada como combustível". Qual é o erro da afirmação? Reescreva a frase, corrigindo-a.

4. Considere a fórmula estrutural do farneseno, substância produzida por leveduras geneticamente modificadas.

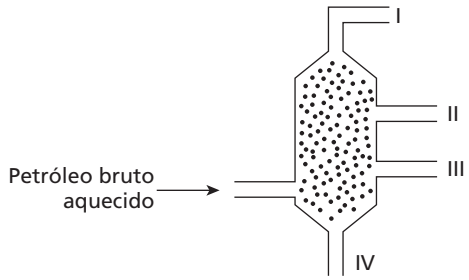


Farneseno

Caso os estudantes não saibam, comente que o prefixo para 12 carbonos é "dodec".

Após reagir quimicamente e todas as insaturações serem transformadas em ligações simples, o farneseno transforma-se em bioquerosene, um substituto para o querosene obtido do petróleo. Para a publicação de um artigo científico, qual nome sistemático IUPAC deve ser indicado para o farneseno?

5. A figura a seguir mostra, de forma esquemática e simplificada, o processo utilizado nas refinarias para efetuar a destilação fracionada do petróleo. Os produtos recolhidos em I, II, III e IV são, respectivamente: 5. Alternativa **a**.



Representação esquemática de uma coluna de fracionamento de petróleo.

a. gás de cozinha, gasolina, óleo diesel e asfalto.
b. álcool, asfalto, óleo diesel e gasolina.
c. asfalto, gasolina, óleo diesel e acetona.
d. gasolina, óleo diesel, gás de cozinha e asfalto.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Propriedades dos compostos orgânicos

Sabendo que o etanol (C_2H_5OH) é solúvel em água em qualquer proporção, poderíamos pensar que as propriedades físico-químicas dos demais compostos pertencentes à mesma classe funcional seriam bastante semelhantes. No entanto, isso não é observado, porque, além da solubilidade, propriedades como densidade e temperaturas de transição de estado físico estão relacionadas às interações intermoleculares ou entre moléculas de substâncias diferentes. A intensidade dessas interações entre moléculas orgânicas está relacionada a alguns fatores, como o tamanho da molécula e, portanto, sua massa molecular; o arranjo dos átomos ou tipo de cadeia e o tipo de interação intermolecular, e, portanto, ao grupo funcional presente.

Temperatura de fusão e de ebulição

As mudanças de estado físico da matéria são processos em que ocorre o relaxamento ou o rompimento das interações intermoleculares, decorrente da transferência de energia térmica. Assim, substâncias cujas moléculas interagem entre si com menor intensidade apresentam menores valores para as temperaturas de fusão e de ebulição quando comparadas com substâncias que apresentam interações intermoleculares mais intensas.

No caso de substâncias pertencentes à mesma classe funcional, os valores para as temperaturas de ebulição aumentam conforme aumentam as massas molares dos compostos, em uma **série homóloga**, isto é, quando são comparados compostos da mesma função química e com o mesmo tipo de cadeia.

Vamos analisar o caso de **haletos orgânicos**, moléculas orgânicas que têm um ou mais átomos de flúor, cloro, bromo ou iodo ligados diretamente a átomos de carbono. A ligação C — X, em que X representa um dos halogênios citados, é polarizada, resultando em uma carga parcial positiva (δ^+) no átomo de carbono e em uma carga parcial negativa (δ^-) no átomo de halogênio, em função da diferença de eletronegatividade entre eles. Dependendo da quantidade de ligações C — X e da disposição espacial dessas ligações na molécula, o vetor momento de dipolo elétrico resultante não é nulo. Nessa circunstância, as moléculas estabelecem interações intermoleculares do tipo dipolo permanente-dipolo permanente, também chamadas de **forças de Keesom**.

O efeito do tamanho da cadeia carbônica, em moléculas de cadeia linear, na temperatura de ebulição de substâncias de uma série homóloga pode ser verificado por meio dos dados da tabela a seguir.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Temperaturas de ebulição (TE) de haletos orgânicos de uma série homóloga

Nome	Fórmula estrutural	*MM* (u)	TE (°C) a 1 atm
Clorometano	$H_3C — C\ell$	50,5	–24,1
Cloroetano	$H_3C — CH_2 — C\ell$	64,5	12,3
1-cloropropano	$H_3C — CH_2 — CH_2 — C\ell$	78,5	46,2
1-clorobutano	$H_3C — CH_2 — CH_2 — CH_2 — C\ell$	92,6	78,4

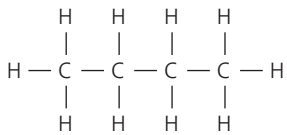
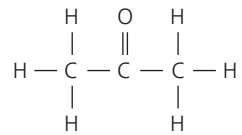
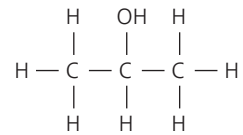
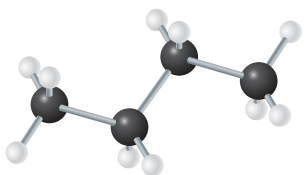
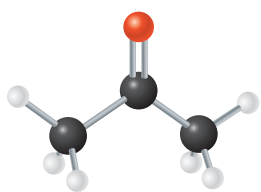
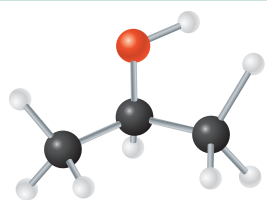
Fonte: LIDE, D. R. **CRC Handbook of Chemistry and Physics**. 96th ed. Boca Raton: CRC Press, 2016.

Valores de massa molecular e de temperatura de ebulição (a 1 atm) de alguns haletos orgânicos.

É possível observar que, quanto maior o número de átomos de carbono na molécula, maior é a temperatura de ebulição da substância. Isso acontece porque a superfície de interação entre as moléculas de cadeia mais longa é maior que nas moléculas menores, o que implica maior número de interações intermoleculares do tipo dipolo instantâneo-dipolo induzido, também chamadas de **forças dispersivas de London**, combinadas com as forças de Keesom verificadas em função do grupo funcional. As forças dispersivas de London ocorrem em todas as moléculas e serão mais ou menos pronunciadas em função do tamanho e do tipo de cadeia carbônica. Embora menos intensas que os outros tipos de interações intermoleculares, em moléculas suficientemente grandes elas podem sobrepor seu efeito ao de outras interações intermoleculares.

O estudo do tipo de interação intermolecular presente também ajuda a explicar as diferenças nos valores das temperaturas de mudança de estado físico de compostos orgânicos de classes funcionais diferentes quando comparadas às moléculas de massa molecular semelhante. Observe os exemplos mostrados na tabela a seguir.

Relação entre a estrutura e as propriedades físico-químicas de alguns compostos orgânicos

Nome da substância	Butano	Acetona (propanona)	Propan-2-ol
Classe funcional	Hidrocarboneto	Cetona	Álcool
M_r (u)	58	58	60
Fórmula estrutural plana			
Modelo de esferas e bastões (Representação tridimensional)			
Polaridade da molécula	Apolar	Polar	Polar
Tipo de interação intermolecular predominante	Forças dispersivas de London	Forças de Keesom	Ligação de hidrogênio
TF (°C) a 1 atm	–138,3	–94,9	–87,9
TE (°C) a 1 atm	–0,5	56,1	82,2

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: LIDE, D. R. **CRC Handbook of Chemistry and Physics**. 96th ed. Boca Raton: CRC Press, 2016.

Representação de alguns compostos orgânicos e respectivas propriedades físico-químicas. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Note que as moléculas representadas na tabela têm massas moleculares próximas; por consequência, as diferenças observadas podem ser atribuídas, predominantemente, às diferenças nos tipos de interação intermolecular.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Entre as moléculas orgânicas que apresentam pelo menos um átomo de hidrogênio ligado a átomos de nitrogênio ou oxigênio, como ocorre em algumas aminas e amidas, nos álcoois e nos ácidos carboxílicos, a interação dipolo permanente-dipolo permanente que se verifica entre elas é de um tipo particular, classificada como **ligação de hidrogênio**. Sendo mais intensa que as forças de Keesom, sua presença ajuda a explicar as maiores temperaturas de mudança de estado físico do propan-2-ol entre as substâncias analisadas.

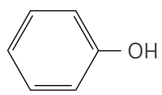
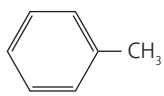
Solubilidade dos compostos orgânicos

Além das interações intermoleculares entre as moléculas que formam a substância, há interações intermoleculares estabelecidas quando misturas são formadas. Portanto, compreender como moléculas de substâncias diferentes interagem entre si é de grande importância para prever se uma substância será solúvel em outra.

Substâncias que apresentam afinidade pela água, ou seja, dissolvem-se nela em extensão considerável, são chamadas de **substâncias hidrofílicas**, e aquelas muito pouco solúveis em água são chamadas de **substâncias hidrofóbicas**. Podemos verificar experimentalmente que as substâncias hidrofóbicas tendem a solubilizar bem substâncias apolares, ao passo que as substâncias hidrofílicas tendem a solubilizar bem substâncias polares.

Vamos analisar as propriedades de dois compostos, o fenol e o tolueno, dispostas na tabela a seguir.

Comparação entre as propriedades físico-químicas do fenol e do tolueno

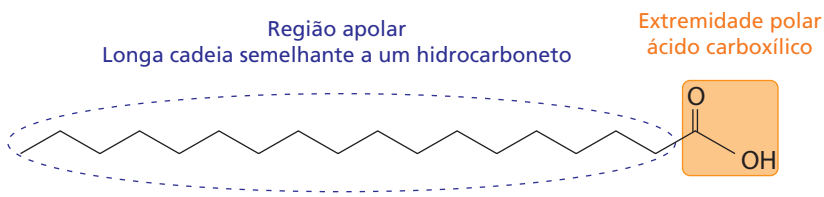
Nome	Fórmula estrutural	Massa molecular (u)	Solubilidade a 25 °C (g em 100 g de água)	TE (°C) a 1 atm
Fenol		94	9,17	182,0
Tolueno		92	0,05	110,6

Fonte: LIDE, D. R. **CRC Handbook of Chemistry and Physics**. 96th ed. Boca Raton: CRC Press, 2016.

Representação do fenol e do tolueno e respectivas propriedades físico-químicas.

A presença de grupos hidroxila (—OH) nas moléculas de fenóis indica que esses compostos são semelhantes aos álcoois em alguns aspectos. Portanto, as moléculas dos fenóis são capazes de interagir por meio de ligações de hidrogênio com as moléculas de água, fazendo com que esses compostos sejam mais solúveis que os hidrocarbonetos de massa molecular e cadeia carbônica semelhante.

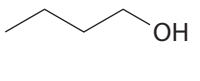
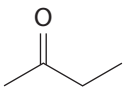
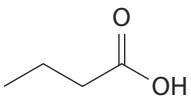
Existem ainda compostos que apresentam em suas moléculas regiões predominantemente hidrofóbicas e regiões predominantemente hidrofílicas, denominados **substâncias anfipáticas**. O ácido octadecanoico ($C_{17}H_{35}COOH$), ou ácido esteárico, um ácido carboxílico de ocorrência natural encontrado nos óleos vegetais, é um exemplo de substância com essas características.



Note que as moléculas desse composto têm uma longa cadeia formada apenas por átomos de carbono e de hidrogênio, e um grupo funcional carboxila em uma das extremidades. Esse tipo de substância, também conhecida como **tensoativo** por alterar a tensão superficial dos líquidos, promove a dissolução de substâncias apolares em solventes polares e, vice-versa.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

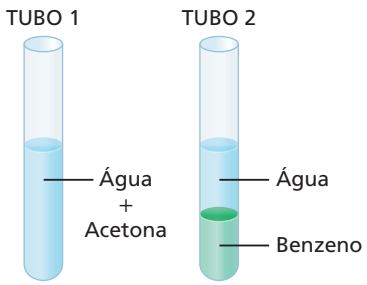
6. (Famerp) O ponto de ebulição das substâncias está relacionado com o tipo de interação existente entre suas moléculas e com a massa molecular. O quadro apresenta substâncias com massas moleculares próximas e suas respectivas fórmulas estruturais. 6. Alternativa **e**.

			
Butan-1-ol	Butanona	Ácido butanoico	Butano

A ordem crescente de temperaturas de ebulição das substâncias apresentadas no quadro é

a. butanona – butano – butan-1-ol – ácido butanoico.
b. butan-1-ol – butanona – ácido butanoico – butano.
c. ácido butanoico – butan-1-ol – butanona – butano.
d. butano – ácido butanoico – butanona – butan-1-ol.
e. butano – butanona – butan-1-ol – ácido butanoico.

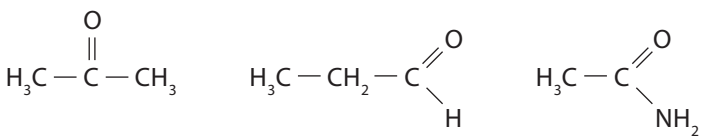
7. (UEA) Nos sistemas a seguir, todos os líquidos envolvidos possuem massas iguais. 7. Alternativa **a**.



Uma análise do comportamento desses líquidos nos tubos permite inferir que

a. a água e a acetona apresentam momento dipolar resultante diferente de zero, formando uma mistura homogênea no tubo 1.
b. o benzeno e a acetona são apolares, formando uma mistura homogênea se misturados.
c. a água é uma substância com momento dipolar resultante igual a zero, menos densa que o benzeno.
d. o benzeno é uma substância polar, menos densa que a acetona.
e. a água e o benzeno são apolares, formando uma mistura heterogênea no tubo 2.

8. Em julho de 2015, o módulo Philae pousou no cometa 67P e encontrou no corpo celeste compostos considerados precursores da vida. Segundo os pesquisadores, foram encontrados 16 tipos de compostos orgânicos, alguns deles contendo nitrogênio. Dentre todos os compostos encontrados, estão:



Acetona | Propanal | Acetamida

Indique qual deles teria a maior temperatura de ebulição. Justifique sua resposta. Em seguida, faça uma pesquisa dos valores de temperatura de ebulição experimentais dessas substâncias e julgue se sua previsão se concretizou ou não.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

ATIVIDADES DE FECHAMENTO

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. (Enem) Os hidrocarbonetos são moléculas orgânicas com uma série de aplicações industriais. Por exemplo, eles estão presentes em grande quantidade nas diversas frações do petróleo e normalmente são separados por destilação fracionada, com base em suas temperaturas de ebulição. O quadro apresenta as principais frações obtidas na destilação do petróleo em diferentes faixas de temperaturas.

Fração	Faixa de temperatura (°C)	Exemplos de produtos	Número de átomos de carbono (hidrocarboneto de fórmula geral C_nH_{2n+2})
1	Até 20	Gás natural e gás de cozinha (GLP)	C_1 a C_4
2	30 a 180	Gasolina	C_6 a C_{12}
3	170 a 290	Querosene	C_{11} a C_{16}
4	260 a 350	Óleo diesel	C_{14} a C_{18}

Fonte: SANTA MARIA, L. C. *et al*. Petróleo: um tema para o ensino de química. **Química Nova na Escola**, n. 15, 2002 (adaptado).

Na fração 4, a separação dos compostos ocorre em temperaturas mais elevadas porque 1. Alternativa **d**.

a. suas densidades são maiores.
b. o número de ramificações é maior.
c. sua solubilidade no petróleo é maior.
d. as forças intermoleculares são mais intensas.
e. a cadeia carbônica é mais difícil de ser quebrada.

2. Considere as fórmulas moleculares e os respectivos nomes das substâncias a seguir:

Fórmula molecular	Nome
CH_4	Metano
C_3H_8	Propano
C_5H_{12}	Pentano
C_7H_{16}	Heptano
$C_{18}H_{38}$	Octadecano

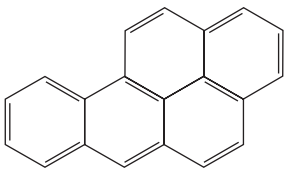
A respeito das substâncias, são feitas as seguintes afirmações: 2. Alternativa **d**.

I. O metano é o principal componente do gás natural.
II. O pentano tem menor temperatura de ebulição que o propano.
III. O octadecano pertence à fração conhecida como diesel.
IV. É possível obter maior quantidade de moléculas pertencentes à fração da gasolina a partir do octadecano por um processo conhecido como craqueamento.

Estão corretas:

a. I, II e III.
b. I, II, III e IV.
c. II, III e IV.
d. I, III e IV.

3. (Uerj) A exposição ao benzopireno é associada ao aumento de casos de câncer. Observe a fórmula estrutural dessa substância: 3. Alternativa **d**.

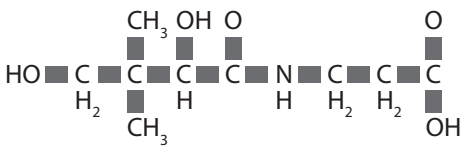


Com base na fórmula, a razão entre o número de átomos de carbono e o de hidrogênio, presentes no benzopireno, corresponde a:

a. $\frac{3}{7}$ **b.** $\frac{6}{5}$ **c.** $\frac{7}{6}$ **d.** $\frac{5}{3}$

4. Com base na valência dos elementos químicos apresentada na tabela, copie no caderno a representação da molécula de vitamina B_5 (ácido pantotênico) e substitua cada um dos retângulos pela ligação química correspondente.

Elemento químico	Valência
H	Monovalente
O	Bivalente
N	Trivalente
C	Tetravalente

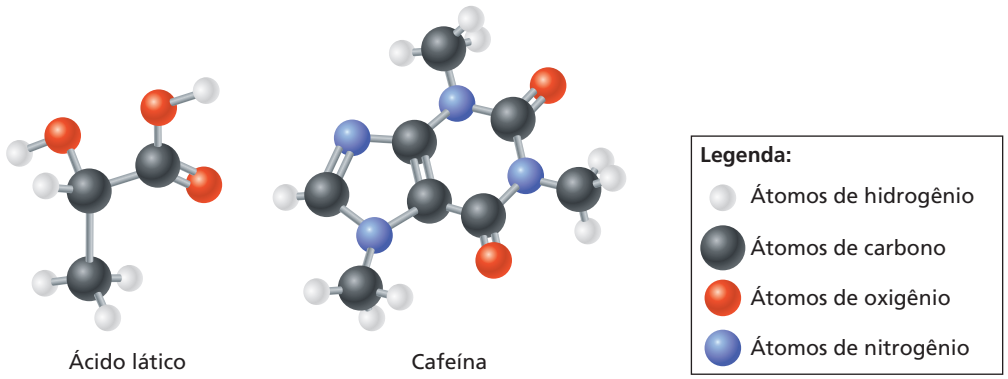


5. Reconhecer a estrutura dos compostos orgânicos por meio de sua nomenclatura é essencial para prever propriedades que podem ser úteis na produção de diversos materiais. Alguns hidrocarbonetos, como o propeno, são utilizados como matéria-prima para a fabricação de embalagens plásticas, peças automotivas e até tecidos. Em seu nome, o prefixo "prop" indica o número de carbonos. Já o pentano pode ser utilizado como gás de refrigeração e em análises químicas, e seu infixo "an" indica que só há ligações simples entre os carbonos. Represente, em seu caderno, os hidrocarbonetos a seguir por meio de fórmulas estruturais planas parcialmente condensadas.

a. But-1-eno.
b. Pentano.
c. Hex-2-ino.
d. 4,6-dimetil-hepta-2,4-dieno.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

6. Desenhe a fórmula estrutural plana parcialmente condensada da molécula do ácido lático (presente no leite) e a fórmula estrutural plana simplificada da molécula da cafeína (presente no café e em alguns chás).

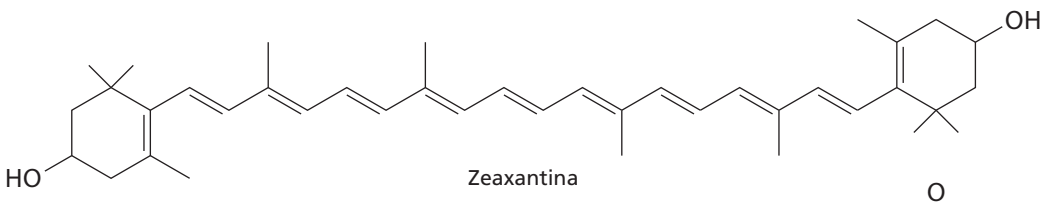


Ácido lático Cafeína

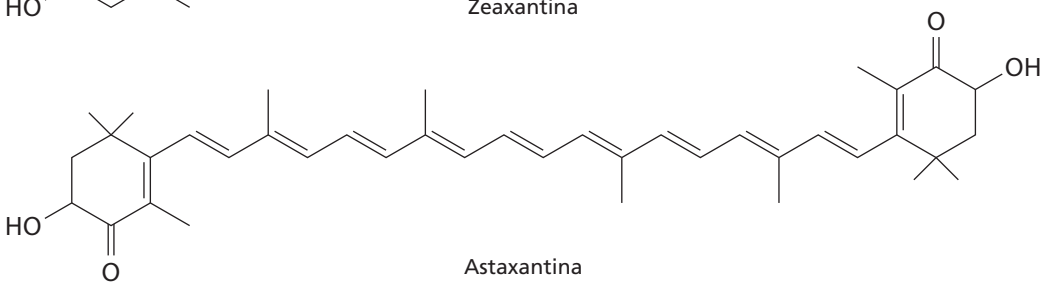
ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Modelo de esferas e bastões para as moléculas de ácido lático e cafeína. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

7. Analise as duas fórmulas estruturais a seguir. Uma delas é a da zeaxantina, responsável pela cor amarela do milho. A outra, bastante parecida, é a da astaxantina, responsável pela coloração rosada do salmão. Em quantos átomos de carbono, hidrogênio e oxigênio diferem as duas moléculas corantes?



Zeaxantina



Astaxantina

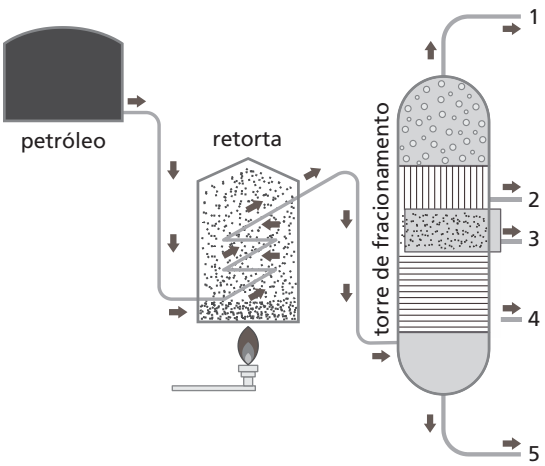
8. Proponha ao menos duas fórmulas estruturais de cadeia aberta para cada um dos compostos representados a seguir. Apresente seus nomes sistemáticos e organize-os em ordem crescente de temperatura de ebulição, justificando com base nas interações intermoleculares.

a. C_4H_{10} **b.** C_5H_{12}

9. (Unifesp) A figura mostra o esquema básico da primeira etapa do refino do petróleo, realizada à pressão atmosférica, processo pelo qual ele é separado em misturas com menor número de componentes (fracionamento do petróleo).

a. Dê o nome do processo de separação de misturas pelo qual são obtidas as frações do petróleo e o nome da propriedade específica das substâncias na qual se baseia esse processo.

b. Considere as seguintes frações do refino do petróleo e as respectivas faixas de átomos de carbono: gás liquefeito de petróleo (C_3 a C_4); gasolina (C_5 a C_{12}); óleo combustível (>C_{20}); óleo diesel (C_{12} a C_{20}); querosene (C_{12} a C_{16}). Identifique a posição (1, 2, 3, 4 ou 5) da torre de fracionamento na qual é obtida cada uma dessas frações.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Capítulo 14

Combustíveis fósseis e chuva ácida

© 1994 NYC PARKS PHOTO ARCHIVE, FUNDAMENTAL PHOTOGRAPHS, NYC

© KRISTEN BROCHMANN, FUNDAMENTAL PHOTOGRAPHS, NYC

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Essas fotografias são de uma estátua de mármore (material à base de carbonato de cálcio) de George Washington, localizada em Nova York (EUA), registradas em 1935 **(A)** e 1994 **(B)**. A fotografia mais recente mostra que parte da estátua teve uma degradação parcial por causa da incidência de chuva ácida.

OBJETO DIGITAL *Podcast*: **Um resumo histórico sobre a chuva ácida**

Diversas atividades do nosso cotidiano ainda dependem da energia obtida de combustíveis fósseis, em especial derivados do petróleo, carvão mineral e gás natural. Embora o uso dessas fontes não renováveis tenha sido fundamental para o desenvolvimento da sociedade, possibilitando o avanço econômico, social e tecnológico, elas contribuem significativamente para intensificar a poluição, principalmente atmosférica. A emissão de gases que intensificam o efeito estufa e contribuem para a acidificação das chuvas é um exemplo da poluição causada pela queima desses combustíveis.

Neste capítulo, abordaremos a dependência mundial dos combustíveis fósseis e a necessidade de alternativas energéticas, bem como os impactos ambientais desses combustíveis, com ênfase no fenômeno da chuva ácida.

Principais fontes não renováveis de energia

OBJETO DIGITAL
Infográfico clicável: Um brilho na escuridão

A necessidade de gerar energia remonta à Pré-História, quando os seres humanos usavam o calor obtido pela queima da madeira para se aquecer e preparar alimentos. Ao longo do tempo, conforme suas necessidades evoluíam, a humanidade desenvolveu máquinas capazes de transformar um tipo de energia em outro. Um período histórico significativo para essas invenções foi a Revolução Industrial, que se estendeu do século XVIII até meados do século XIX.

No século XV, muitas atividades eram executadas por meio do esforço físico humano ou com a ajuda de animais de tração, enquanto a biomassa, principalmente a lenha, era usada para aquecer os ambientes nos dias frios e para cozinhar. O vento também servia como fonte de energia, movendo moinhos e embarcações, embora sua contribuição fosse relativamente pequena naquela época.

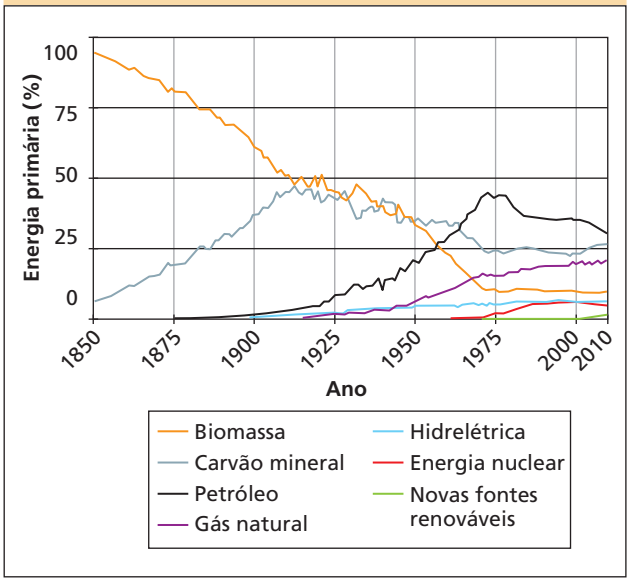
Durante a Revolução Industrial, novas fontes de energia começaram a ser amplamente empregadas, como o carvão mineral, que se tornou o principal combustível para os motores a vapor. A partir do início do século XX, a dependência do carvão diminuiu gradualmente, sendo substituído por fontes de energia com maior potencial energético, como os derivados do petróleo. O gráfico ao lado ilustra as mudanças no uso das diferentes fontes de energia primária ao longo do tempo, ou seja, utilizadas para produção de outros tipos de energia, como a elétrica.

Observe que, no final do século XX, os produtos derivados do petróleo tornaram-se as principais fontes de energia, e a economia global tornou-se extremamente dependente do motor de combustão interna e das indústrias petroquímicas. Com o progresso do conhecimento científico, a sociedade também começou a utilizar outras fontes de energia eficientes, como o gás natural e a energia nuclear.

Observe o gráfico **Matriz energética mundial em 2021**, que fornece dados relativos à dependência mundial dos diferentes combustíveis e a necessidade de alternativas para a geração de energia.

De acordo com os dados do gráfico, o petróleo é a fonte não renovável mais utilizada mundialmente, seguido do carvão mineral e do gás natural.

Mudanças estruturais mundiais de energia primária (em porcentagem)

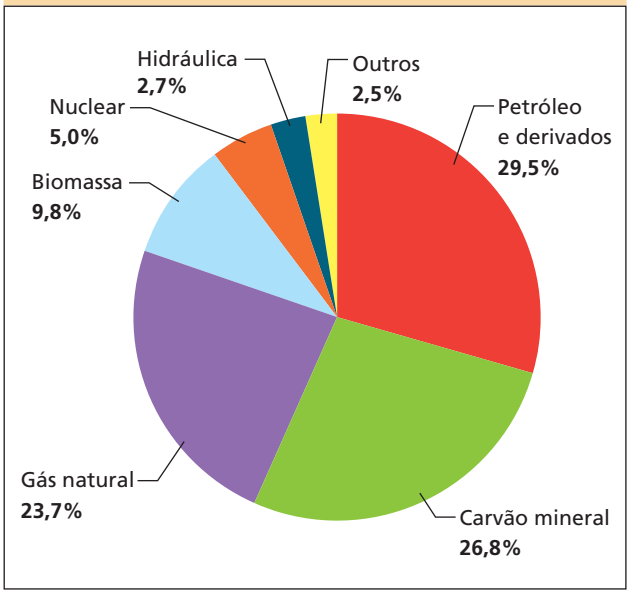


LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: GRUBLER, A. *et al*. **Energy primer**. Laxenburg: International Institute for Applied Systems Analysis, 2014.

Representação gráfica do percentual de uso de diferentes fontes de energia entre 1850 e 2010 no mundo.

Matriz energética mundial em 2021



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Matriz energética e elétrica**. [Brasília, DF]: Ministério de Minas e Energia, 2023. Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica Acesso em: 23 ago. 2024.

A porção "outros" inclui energia eólica, solar e de outras fontes renováveis e não renováveis.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Petróleo

ARQUIVO ARTUR NEIVA/CPDOC FGV

Primeiro poço de petróleo do Brasil (Lobato, BA, 1939).

Essa relevante fonte de energia, de acordo com a teoria mais aceita atualmente, originou-se da lenta degradação, feita por bactérias anaeróbicas, de detritos orgânicos oriundos de organismos aquáticos, vegetais e animais, seguida pelo processo de fossilização que envolve transformações químicas complexas relacionadas a altas temperaturas e pressões ao longo de milhões de anos. A matéria orgânica decomposta foi coberta por sedimentos, que mais tarde se transformaram em rochas sedimentares, como calcário e arenito. O material resultante (petróleo, gás natural e água), agora fossilizado, permanece armazenado nas rochas permeáveis, formando as jazidas que são exploradas comercialmente. A idade de uma jazida pode variar de 10 milhões a 400 milhões de anos.

Embora se forme em camadas subterrâneas, o petróleo também pode aflorar na superfície da crosta terrestre. No Brasil, em 1939, foi perfurado o primeiro poço de petróleo, no município de Lobato, na Bahia. Apesar de a extração desse poço não ter sido bem-sucedida, ela foi fundamental para o desenvolvimento da atividade petrolífera nacional. Além de seu uso como fonte de energia, o petróleo também é fonte de matéria-prima para a indústria.

Assim como diversos produtos que se formam naturalmente, a composição de diferentes amostras de petróleo pode variar. É possível determinar sua composição utilizando uma escala relativa de densidade. Observe a seguir a classificação baseada no tipo predominante de hidrocarboneto na amostra.

Classificação dos tipo de petróleo segundo a densidade relativa expressa em °API a 15,5 °C e 1 atm

Tipos de petróleo	Densidade (°API)
Leve ou de base parafínica	> 38
Médio ou de base naftênica	22 < *d* < 38
Pesado ou de base aromática	< 22

Fonte: ARAÚJO, G. M. **Normas regulamentadoras comentadas**. 11. ed. Rio de Janeiro: Gerenciamento Verde, 2014. v. 2.

O grau API (*American Petroleum Institute*) é uma escala utilizada especificamente para medições de densidade relativa do petróleo.

Conforme essa classificação, quanto menor a densidade do petróleo, maior o grau API e, consequentemente, maior seu valor comercial. Isso ocorre porque, a partir dele, é possível produzir uma quantidade maior de derivados economicamente importantes, como gasolina, diesel e GLP (gás liquefeito de petróleo). O petróleo brasileiro, geralmente de formação geológica recente, é considerado mais denso e de menor qualidade em comparação ao petróleo árabe, que é menos denso e de formação geológica antiga.

Adicionalmente, o teor de enxofre – uma impureza – é outro fator avaliado para determinar a qualidade do petróleo. Contaminantes sulfurados podem causar diversos problemas, como corrosão de oleodutos e gasodutos, além de poluição ambiental quando presentes em combustíveis derivados do petróleo.

De modo geral, quanto menor o teor de enxofre e maior o grau API do petróleo, maior será sua qualidade e seu valor comercial.

Carvão mineral

A palavra "carbono" vem do latim *carbo*, que significa "carvão". Há dois tipos de carvão, o vegetal e o mineral. O **carvão vegetal** é produzido da combustão incompleta de biomassa e pode ser utilizado na obtenção de energia e em sistemas de purificação. O **carvão mineral** é uma rocha sedimentar que, provavelmente, foi formada de vegetais soterrados por sedimentos em ambientes praticamente isentos de gás oxigênio e submetidos a altas pressões e temperaturas por milhões de anos. Com o passar do tempo, a

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

matéria foi transformada em carvão, ou seja, em produtos com teor de carbono cada vez maior. As características do carvão mineral dependem de fatores como tipo da matéria vegetal que o formou, clima e tempo de formação. No Brasil, as condições geológicas descritas se verificaram com mais intensidade na região Sul, onde se concentram as jazidas do país; no entanto, contamos com menos de 1% do carvão mineral conhecido no mundo. O carvão brasileiro foi formado no período Permiano, e sua existência é conhecida desde 1827, mas somente após a Segunda Guerra Mundial sua exploração se tornou relevante. Assim como o petróleo, o carvão mineral é importante para a economia por ser fonte de matéria-prima e de energia.

JAROMIR CHALABALA/SHUTTERSTOCK

Carvão mineral retirado de uma mina na República Tcheca.

Os principais tipos de carvão mineral são turfa, linhito, hulha (ou carvão betuminoso) e antracito. Eles diferem-se fundamentalmente pelo teor de carbono na sua constituição, conforme informa a tabela a seguir.

Principais tipos de carvão mineral

Tipo de carvão mineral	Teor de carbono (%)	Cor
Turfa	55 a 65	Parda
Linhito	65 a 80	Negro-parda
Hulha (carvão betuminoso)	80 a 93	Negra
Antracito	93 a 98	Negra

Fonte: SCHUMANN, W. **Rochas e minerais**. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1985.

Comparação das características de diferentes tipos de carvão mineral.

De maneira geral, quanto maior o teor de carbono, mais antigo é o carvão mineral e maior será sua capacidade de produzir energia.

Gás natural

Outra fonte não renovável importante é o **gás natural**, que pode ser encontrado associado ou não às jazidas de petróleo. Ele é usado principalmente como fonte de energia em usinas termelétricas e indústrias. Em sua composição predomina o gás metano.

MARCOS AMEND/PULSAR IMAGENS

Instalações de uma usina termelétrica que usa como combustível gás natural (Barcelona, 2020).

O gás metano também pode ser encontrado em aterros sanitários (onde resíduos sólidos e terra são depositados em camadas sucessivas) e nos pântanos (onde há muitos vegetais em decomposição). O metano formado nessas localidades é conhecido como **biogás**, ou, ainda, gás dos pântanos.

Embora também seja um produtor, o Brasil importa gás natural da Bolívia para atender à demanda adicional desse combustível. Esse gás é transportado pelo gasoduto Brasil-Bolívia (Gasbol), que atravessa cerca de 5 mil propriedades em 136 municípios localizados nos estados de Mato Grosso do Sul, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Rio Grande do Sul. Com uma extensão atual de 3.150 km (sendo 557 km na Bolívia e 2.593 km no Brasil), sua construção teve início em 1997 e a operação começou em 1999. Para assegurar a vazão diária prevista de até 30 milhões de metros cúbicos de gás, foram utilizados tubos de aço carbono de 81 centímetros de diâmetro.

ANDERSON DE ANDRADE PIMENTEL/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em TRANSPORTADORA BRASILEIRA GASODUTO BOLÍVIA-BRASIL. Disponível em: https://www.tbg.com.br/pt/traçado-do-gasoduto. Acesso em: 20 ago. 2024.

Mapa representando a localização do gasoduto Brasil-Bolívia (Gasbol).

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor. **Registre em seu caderno**

1. Com base nas informações apresentadas neste capítulo, é correto afirmar que o petróleo é:
   - **a.** uma substância constituída por hidrocarbonetos. 1. Alternativa **d**.
   - **b.** um produto natural de composição fixa.
   - **c.** uma mistura de composição fixa.
   - **d.** uma mistura de composição variável.
   - **e.** uma substância de composição variável.
2. Em setembro de 2011, foi noticiado que um *shopping center* da zona norte de São Paulo corria sério risco de explosão iminente, consequência de ter sido construído, na década de 1980, sobre um antigo lixão.

   Sobre esse assunto, assinale a alternativa **incorreta**. 2. Alternativa **b**.
   - **a.** A decomposição do material orgânico dos lixões produziu metano (CH_4), um gás combustível que, por ser menos denso que o ar atmosférico, pode atingir as instalações do *shopping* e causar uma explosão.
   - **b.** Como o gás metano se dissolve facilmente no meio aquoso que reveste o epitélio olfativo do nariz, seu odor pode ser facilmente detectado pelos frequentadores do *shopping*.
   - **c.** A combustão do gás metano é potencialmente perigosa por ser altamente exotérmica, isto é, sua variação de entalpia é negativa.
   - **d.** O metano também é o principal componente do gás natural, combustível que abastece muitos automóveis e até mesmo alguns fogões de gás encanado no Brasil.
3. Duas amostras de carvão mineral foram encontradas. Uma **(A)** com teor de carbono igual a 55% e outra **(B)** com teor de carbono igual a 85%. Classifique as amostras de carvão mineral como turfa, linhito, hulha ou antracito e diga qual delas é a mais antiga.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Os impactos da queima de combustíveis fósseis

A queima de combustíveis fósseis, como o carvão mineral, o gás natural e aqueles derivados do petróleo, contribui para o aumento da emissão de gases de efeito estufa e poluentes atmosféricos, intensificando o fenômeno do efeito estufa e o aquecimento global.

O efeito estufa é um fenômeno natural, no qual os chamados **gases de efeito estufa (GEE)**, como dióxido de carbono (CO_2) e metano (CH_4), retêm parte do calor irradiado pela superfície terrestre, impedindo que ele escape para o espaço. Dessa forma, esse fenômeno é responsável pelo equilíbrio térmico na superfície terrestre, possibilitando a manutenção da vida. No entanto, o aumento exacerbado da concentração desses gases na atmosfera – o que acontece especialmente por fatores **antropogênicos** – intensifica esse processo, causando um aumento das temperaturas médias globais.

Antropogênicos: Plural de *antropogênico*. Aquilo que se origina de atividades humanas.

Apesar de esse aumento das temperaturas médias globais, denominado **aquecimento global**, ser gradual, ele é muito mais rápido do que poderia ser esperado para os ciclos naturais do planeta Terra e está relacionado a uma série de efeitos adversos no clima global, incluindo derretimento das calotas polares, elevação do nível do mar e mudanças nos padrões climáticos, além do branqueamento de corais.

BRETT MONROE GARNER/MOMENT/GETTY IMAGES

BRETT MONROE GARNER/MOMENT/GETTY IMAGES

Cronologia da destruição de corais. **(A)** Corais em Queensland, Austrália, 2017. **(B)** Branqueamento dos corais em Queensland, Austrália, 2017.

A coloração muitas vezes vibrante dos corais é uma consequência da presença de algas em sua superfície. Essas duas espécies vivem em simbiose, e as algas fornecem os nutrientes necessários para a sobrevivência dos corais. Porém, o aumento da temperatura da água causa estresse nas espécies marítimas, fazendo com que os corais expulsem as algas e, assim, percam sua fonte de nutrientes e fiquem mais suscetíveis a doenças. O branqueamento observado se dá por conta da exposição do esqueleto de calcário (branco) do coral. No início de 2024, pesquisadores e ambientalistas relataram a primeira incidência desse fenômeno no litoral brasileiro, na região Nordeste.

A sobrevivência dos corais é ameaçada, ainda, pela **acidificação dos oceanos**. Esse fenômeno ocorre porque o gás CO_2, em alta concentração no ar atmosférico poluído, se dissolve na água e, ao reagir com ela, forma outras espécies químicas que causam o aumento da acidez da água dos oceanos. Esse desequilíbrio causa a destruição dos esqueletos dos corais, que são basicamente constituídos de carbonato de cálcio. Esse processo descrito pode ser representado pelas equações químicas a seguir.

$$CO_2(g) + H_2O(\ell) \rightleftharpoons \underset{\text{Ácido carbônico}}{H_2CO_3(aq)}$$

$$H_2CO_3(aq) \rightleftharpoons H^+(aq) + \underset{\text{Hidrogenocarbonato}}{HCO_3^-(aq)}$$

$$CaCO_3(s) + H^+(aq) + HCO_3^-(aq) \rightleftharpoons Ca(HCO_3)_2(aq)$$

Note que o carbonato de cálcio sólido ($CaCO_3$) em meio ácido produz o hidrogenocarbonato de cálcio ($Ca(HCO_3)_2$), que se dissolve em água. Desse modo, o esqueleto calcário dos corais vai se desfazendo, o que pode levar à extinção dessa espécie marinha.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Os óxidos e a chuva ácida

Além da emissão de CO_2, a combustão de combustíveis fósseis libera energia e produz água e óxidos de enxofre e de nitrogênio, sendo esses últimos causadores da **chuva ácida**.

Os **óxidos** são compostos binários, ou seja, constituídos por átomos de dois elementos químicos: o oxigênio e outro menos eletronegativo que ele. A fórmula geral dos óxidos pode ser expressa por E_yO_x (na qual E representa o elemento químico menos eletronegativo que o oxigênio).

Toda chuva é levemente ácida, graças à presença natural de CO_2 na atmosfera, que reage com a água, formando ácido carbônico. Mas os óxidos de nitrogênio ($NO_x = NO$ e NO_2) e de enxofre ($SO_x = SO_2$ e SO_3), quando presentes em quantidades elevadas na atmosfera, em razão principalmente da queima de combustíveis fósseis e da produção industrial, são os responsáveis pelo aumento dessa acidez. Disso decorrem diversos danos à saúde, ao ambiente natural e às construções humanas. A associação entre a presença de ácido sulfúrico, $H_2SO_4(aq)$, na chuva e a queima de combustíveis fósseis é conhecida desde 1872 graças ao trabalho do químico escocês Robert Angus Smith (1817-1884).

No Brasil, a proximidade do município paulista de Cubatão e a Serra do Mar fez com que o fenômeno da chuva ácida causasse a devastação de grande parte da vegetação que recobria a região. Com o tempo, toda a vegetação de alguns locais da Serra do Mar foi devastada, o que causou grave erosão do solo, como mostra a fotografia a seguir.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT)

Erosão do solo da Serra do Mar decorrente das chuvas ácidas e do desmatamento de parte da Mata Atlântica na região de Cubatão, SP, em 1985.

A chuva ácida também está associada à **lixiviação do solo** – dissolução de íons metálicos presentes em rochas e associados à superfície dos grãos do solo, especialmente argila. Um exemplo é a dissolução da gibbsita – mineral rico em hidróxido de alumínio ($A\ell(OH)_3$).

$$A\ell(OH)_3(s) + 3\ H^+(aq) \rightarrow A\ell^{3+}(aq) + 3\ H_2O(\ell)$$

Nesse caso, o aumento da concentração de cátions $A\ell^{3+}$ no solo interfere no crescimento das plantas e, em ecossistemas aquáticos, fragiliza as cascas de ovos formadas. No Brasil, os solos do Cerrado são caracteristicamente ricos em alumínio, e muitas espécies de plantas são adaptadas a essa condição de grande acúmulo desse elemento químico em seus tecidos.

Como avaliar o nível de acidez da chuva?

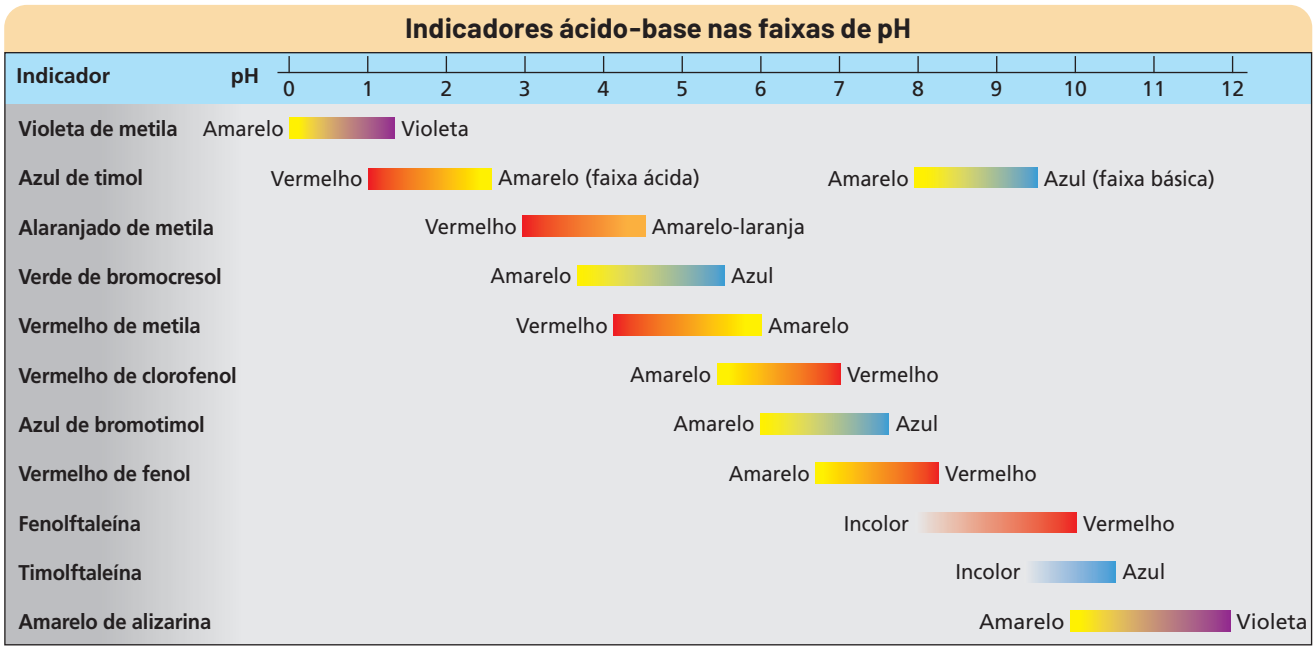
Uma das primeiras sistematizações sobre o comportamento ácido-base dos materiais foi feita pelo filósofo irlandês Robert Boyle (1627-1691), em seu livro *Experimental History of Colours* (*História experimental das cores*). Nessa obra, ele relatou, por exemplo, que alguns extratos vegetais tinham suas cores alteradas na presença de substâncias de caráter ácido ou básico. Mais tarde, as substâncias ativas presentes nesses extratos, como as antocianinas, e as substâncias sintéticas com a mesma propriedade, como a fenolftaleína e o alaranjado de metila, foram denominadas **indicadores ácido-base**.

RICARDO SIWIEC/ARQUIVO DA EDITORA

O chá preto contém um indicador ácido-base; assim, ele muda de cor quando entra em contato com substâncias ácidas do limão.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Cada indicador ácido-base apresenta uma faixa de valores de pH (potencial hidrogeniônico) em que sua coloração é alterada em contato com materiais ácidos, básicos ou neutros, conforme o esquema a seguir.



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

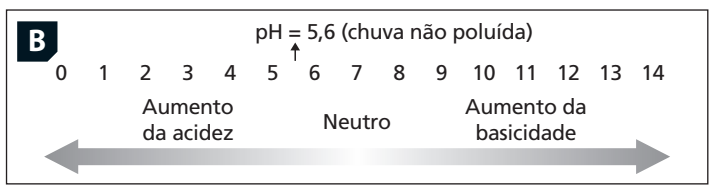
Fonte: McMURRY, J. *et al*. **Chemistry**. 8th ed. New Jersey: Pearson, 2017.

Representação esquemática de alguns indicadores ácido-base comuns e suas faixas de mudanças de cor de acordo com a variação do pH da amostra.

Quantitativamente, o nível de acidez ou basicidade das soluções pode ser avaliado pela análise da quantidade de substância de íons H^+ presente em uma solução aquosa (medida em mol L^{-1}) e pela comparação desse valor com a **escala de pH**. Essa escala varia de 0 a 14, à temperatura de 25 °C. De acordo com essa escala, soluções aquosas que apresentam pH menor que 7 são ácidas, as que apresentam pH maior que 7 são básicas ou alcalinas e as que apresentam pH igual a 7 são neutras. Quanto mais ácida for uma solução, ou seja, quanto maior for a concentração em quantidade de substância de íons H^+, menor será o valor do pH, como apresentado no esquema a seguir.

Se julgar necessário, retome os conceitos de soluto, solvente e concentração das soluções. Como sugestão, é possível fazer uma escala de pH usando a solução extraída de repolho-roxo em água morna. A solução obtida com a filtração desse material apresenta diferentes cores quando em contato com amostras que apresentam acidez variada.

MARTYN F. CHILLMAID/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em BETTELHEIM, F. A. *et al*. **Introduction to general, organic and biochemistry**. 12th ed. Boston: Cengage Learning, 2019.

(A) Estudante em trabalho de campo usando uma sonda conectada a um registrador de dados para verificar o pH em uma lagoa. **(B)** Escala de pH a 25 °C.

A água da chuva naturalmente tem caráter ácido, em razão da presença em níveis normais de dióxido de carbono na atmosfera. Entretanto, em locais com excesso de poluição, principalmente contendo óxidos de nitrogênio e enxofre, o pH da água da chuva pode atingir níveis alarmantes. Por exemplo, na década de 1980, a cidade de Cubatão, SP, teve uma série de problemas associados ao excesso de acidez da chuva, conforme já mencionado neste capítulo. Valores de pH extremamente baixos, próximos de 2, foram mensurados nessa época. Hoje, depois da instituição de leis ambientais e da fiscalização sobre as emissões, que exigiram das indústrias a instalação de filtros e a adoção de medidas para minimizar os efeitos dos resíduos poluentes de seus processos produtivos, a cidade é tida como um modelo de recuperação ambiental.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Cada unidade que varia na escala de pH corresponde a uma variação de 10 vezes na concentração de íons H^+. Por exemplo, se a amostra de chuva ácida coletada de um local X apresentar pH = 3, e a amostra de chuva ácida coletada de um local Y apresentar pH = 5, considera-se que a amostra de chuva ácida do local X é 100 vezes mais ácida que a amostra de chuva ácida do local Y. Essa proporção decorre do fato de a escala de pH ser logarítmica, e não linear.

Caso seja necessário, é possível revisar os conceitos relacionados às ligações iônicas. Chamar a atenção dos estudantes para as semelhanças e diferenças na nomenclatura dos dois tipos de óxido.

Caráter ácido-base dos óxidos

A classificação dos óxidos também é uma importante ferramenta para compreender e prever o comportamento químico e as diversas aplicações desses compostos. Podemos classificar os óxidos de acordo com o caráter da ligação química formada entre o oxigênio e o outro elemento químico e de acordo com suas propriedades químicas.

Os **óxidos iônicos** são aqueles constituídos pelo ânion óxido (O^{2-}) ligado geralmente a um cátion metálico. A hematita, rica em óxido de ferro(III), Fe_2O_3, minério do qual se extrai o metal ferro, e a bauxita, rica em óxido de alumínio ($A\ell_2O_3$), da qual se extrai o metal alumínio, são exemplos de óxidos iônicos.

Os **óxidos moleculares** são os constituídos pelo átomo de oxigênio ligado por covalência, geralmente a um elemento químico não metálico. O monóxido de nitrogênio (NO), o dióxido de carbono (CO_2) e o trióxido de enxofre (SO_3) são exemplos de óxidos moleculares. Além disso, há óxidos covalentes que não formam moléculas, mas, sim, grandes cristais covalentes, como o dióxido de silício (SiO_2) presente em diversos minerais e na areia. Geralmente, os óxidos moleculares apresentam **caráter ácido**. Por exemplo: o dióxido de enxofre (SO_2) emitido na queima de combustíveis fósseis reage com o gás oxigênio presente no ar atmosférico e se transforma em trióxido de enxofre (SO_3). Posteriormente, o SO_3 reage com a água presente na atmosfera e produz o ácido sulfúrico, $H_2SO_4(aq)$. Quando as nuvens ficam carregadas e chove, a água que cai tem caráter ácido, constituindo o fenômeno da chuva ácida. As equações químicas a seguir representam esse processo.

$$SO_2(g) + O_2(g) \rightarrow SO_3(g)$$

$$SO_3(g) + H_2O(\ell) \rightarrow H_2SO_4(aq)$$

Entre os óxidos moleculares, há três substâncias que não apresentam essa característica, embora participem de outros tipos de reação: o monóxido de nitrogênio (NO), o monóxido de dinitrogênio (N_2O) e o monóxido de carbono (CO). Por isso, essas substâncias são consideradas de **caráter neutro**.

Os óxidos formados de metais alcalinos, alcalinoterrosos e lantanídeos têm **caráter básico**. A reação desses compostos com água forma soluções com pH maior que 7, e a reação com substâncias de caráter ácido leva à diminuição do valor de pH da solução. A seguir, apresentamos a equação que representa o exemplo da cal viva (óxido de cálcio, CaO) formando cal extinta (hidróxido de cálcio, $Ca(OH)_2$), óxido utilizado para ajustar a acidez do solo em função do pH adequado para cada tipo de plantação, processo conhecido como **calagem**.

$$CaO(s) + H_2O(\ell) \rightarrow Ca(OH)_2(aq)$$

Na reação de CaO com ácido clorídrico ($HC\ell$) formam-se sal, cloreto de cálcio ($CaC\ell_2$) e água.

$$CaO(s) + 2\ HC\ell(aq) \rightarrow CaC\ell_2(aq) + H_2O(\ell)$$

É importante lembrar, no entanto, que o caráter ácido-base pode relativo, ou seja, uma substância que se comporta como um ácido em certa reação pode se comportar como uma base em outra. Por exemplo: o óxido de zinco (ZnO), assim como diversos óxidos de metais de transição, comporta-se como óxido básico quando reage com o ácido clorídrico ($HC\ell$), mas, na reação com o hidróxido de sódio (NaOH), comporta-se como óxido ácido. Por essa razão, o óxido de zinco é classificado como **anfótero**.

$$ZnO(s) + 2\ HC\ell(aq) \rightarrow \underset{\text{Cloreto de zinco}}{ZnC\ell_2(aq)} + H_2O(\ell)$$

$$ZnO(s) + 2\ NaOH(aq) \rightarrow \underset{\text{Zincato de sódio}}{Na_2ZnO_2(aq)} + H_2O(\ell)$$

Para ampliar a discussão, você pode apresentar o caso dos óxidos de crômio. O CrO é básico, o Cr_2O_3 é anfótero e o CrO_3 é ácido.

Como o gás oxigênio está disponível em abundância na atmosfera e é uma substância bastante reativa, há grande variedade de óxidos presentes no cotidiano. Alguns deles são essenciais à vida, como o gás carbônico (CO_2), que participa do processo de fotossíntese; outros constituem vários minérios. Contudo, dependendo da quantidade presente no meio, alguns óxidos podem se tornar nocivos, causando poluição atmosférica.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

4. A concentração de íons H^+ na água da chuva, expressa na forma de pH, é menor na região: 4. Alternativa **b**.

a. onde se usa muito carvão mineral como combustível.
b. de floresta nativa.
c. do Oceano Atlântico.
d. onde só utilize álcool combustível.

5. Considere as afirmações a seguir.

I. Os óxidos moleculares CO_2 e SO_3 são óxidos ácidos. Por isso, quando liberados na atmosfera por indústrias e automóveis, podem ocasionar a chuva ácida.

II. Os óxidos iônicos apresentam propriedades diferentes dos óxidos moleculares. Por exemplo, quando cinzas de um churrasco – que contêm K_2O – são colocadas em um copo com água e fenolftaleína, a solução adquire coloração rosa.

Qual dos óxidos a seguir deve ser escolhido para neutralizar a acidez da fumaça de uma indústria ou de um solo afetado pela chuva ácida? 5. Alternativa **e**.

a. H_2O.
b. NO_2.
c. P_2O_3.
d. $C\ell_2O_5$.
e. BaO.

6. Um estudante testou um indicador ácido-base obtido das pétalas de uma flor e registrou algumas de suas observações em um quadro. No entanto, se esqueceu de registrar as observações A e B.

Solução aquosa testada	pH a 25 °C	Cor da solução com indicador ácido-base
Ácido clorídrico	1	A
Bicarbonato de sódio	9	azul
Vinagre	5	amarela
Soda cáustica	11	B
Água	7	verde

Preveja quais seriam as cores observadas em A e B nas condições especificadas na linha do quadro. Justifique sua resposta.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

EM FOCO Como prevenir a formação de chuva ácida?

ODS 13

A chuva ácida resulta da presença no ar de dióxido de enxofre e óxidos de nitrogênio. Esses gases reagem com gás oxigênio e com água para produzir uma mistura de ácidos, incluindo ácidos sulfúrico e nítrico diluídos. A maior fonte desses gases são as usinas que queimam combustíveis fósseis que apresentam enxofre em sua composição.

O carvão mineral é particularmente rico em enxofre e causa a maior parte dos danos nas usinas. Óxidos de nitrogênio são formados quando se atingem altíssimas temperaturas advindas da queima dos combustíveis fósseis. Elas são suficientemente altas para permitir que os gases nitrogênio e oxigênio presentes no ar reajam diretamente para formar monóxido de nitrogênio. Com o resfriamento, o monóxido de nitrogênio reage com mais gás oxigênio formando o dióxido de nitrogênio que tem caráter ácido.

Tem se tornado um procedimento de alta prioridade remover esses gases ácidos, que são produtos dessas reações, antes que sejam liberados para o ambiente. Um processo chamado Sistema de Dessulfurização Gasosa (SDG) vem sendo utilizado; nele, os gases resfriados são tratados com carbonato de cálcio em pó. Os gases ácidos reagem com carbonato de cálcio formando nitrato de cálcio ($Ca(NO_3)_2$), nitrito de cálcio ($Ca(NO_2)_2$), e, principalmente, sulfito de cálcio ($CaSO_3$):

$$SO_2(g) + CaCO_3(s) \rightarrow CaSO_3(s) + CO_2(g)$$

$$4\ NO_2(g) + 2\ CaCO_3(s) \rightarrow$$

$$\rightarrow Ca(NO_2)_2(s) + Ca(NO_3)_2(s) + 2\ CO_2(g)$$

Quase 90% do dióxido de enxofre e do dióxido de nitrogênio produzidos por uma usina termoelétrica podem ser removidos por esse processo. O sulfito de cálcio formado é convertido por reação com gás oxigênio em sulfato de cálcio, que é vendido como matéria-prima para construção civil. O único problema do processo é a grande quantidade de calcário que deve ser extraído para a obtenção do carbonato de cálcio.

Fonte: CONOLEY, C.; HILLS, P. **Chemistry**. 3rd ed. London: Collins, 2008. (Tradução dos autores).

1. Quais são os principais gases responsáveis pela formação da chuva ácida e de onde eles provêm?

2. Qual é a principal função do carbonato de cálcio no Sistema de Dessulfurização Gasosa (SDG)?

3. Explique por que o desenvolvimento de processos como o SDG são necessidades urgentes considerando o panorama atual relacionado à poluição atmosférica.

4. Faça uma breve pesquisa e explique por que a grande quantidade de calcário que deve ser extraído para a obtenção do carbonato de cálcio é um problema.

ATIVIDADES DE FECHAMENTO

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. As hortênsias (*Hydrangea macrophylla*) são conhecidas por sua exuberância e por apresentar variações de cor, como rosa, azul e lilás. Observe as imagens a seguir.

POLLYANE MARQUES/SHUTTERSTOCK

RONALDO ALMEIDA/TYBA

(A) Hortênsias no município de Gramado, RS.
(B) Hortênsias no município de São Paulo, SP.

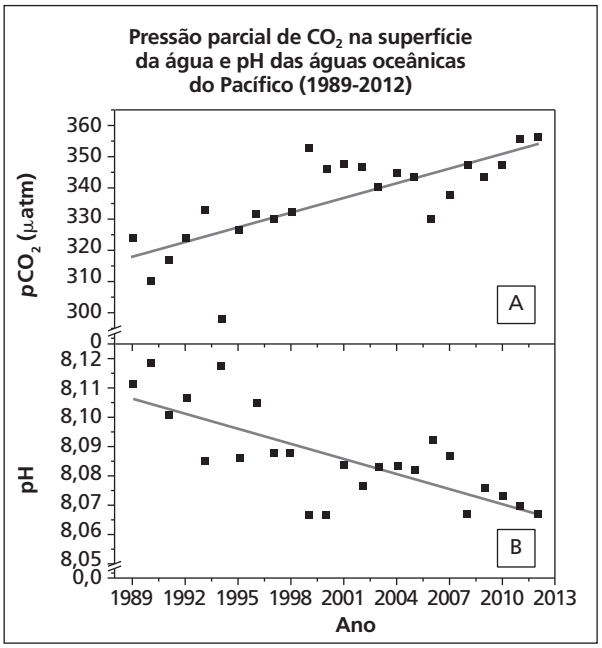
Proponha uma hipótese que possa explicar as diferentes cores apresentadas pelas pétalas das hortênsias plantadas em solos de diferentes locais.

2. (Enem) O dióxido de carbono passa para o estado sólido (gelo seco) a –78 °C e retorna ao estado gasoso à temperatura ambiente. O gás é facilmente solubilizado em água, capaz de absorver radiação infravermelha da superfície da terra e não conduz eletricidade. Ele é utilizado como matéria-prima para a fotossíntese até o limite de saturação. Após a fixação pelos organismos autotróficos, o gás retorna ao meio ambiente pela respiração aeróbica, fermentação, decomposição ou por resíduos industriais, queima de combustíveis fósseis e queimadas. Apesar de sua importância ecológica, seu excesso causa perturbações no equilíbrio ambiental.

Considerando as propriedades descritas, o aumento atmosférico da substância afetará organismos aquáticos em razão da 2. Alternativa **a**.

a. redução do potencial hidrogeniônico da água.
b. restrição da aerobiose pelo excesso de poluentes.
c. diminuição da emissão de oxigênio pelos autotrófos.
d. limitação de transferência de energia entre os seres vivos.
e. retração dos oceanos pelo congelamento do gás nos polos.

3. Cerca de 30% a 40% do gás carbônico presente na atmosfera é absorvido pelos oceanos. Uma parte do CO_2 absorvido reage com a água do mar, interferindo no pH dos oceanos. Os gráficos mostram como a pressão parcial de CO_2 (pCO_2), gráfico A, e o pH, gráfico B, variaram na superfície oceânica entre os anos de 1989 e 2012, em uma região do Pacífico. Os pontos nos gráficos representam valores experimentais e as retas representam a tendência de variação dos dados.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em HAWAII OCEAN TIME-SERIES (HOT). **Station ALOHA Surface Ocean Carbon Dioxide**. Disponível em: https://hahana.soest.hawaii.edu/hot/hotco2/hotco2.html. Acesso em: 21 set. 2024.

(A) Pressão parcial de CO_2 na superfície da água e **(B)** pH das águas oceânicas do Pacífico entre os anos de 1989 e 2012.

De acordo com as informações, julgue como verdadeira ou falsa cada uma das afirmações a seguir:

I. O CO_2, ao reagir com a água do mar, aumenta a acidez dos oceanos, o que implica pH menor que 7.
II. A acidificação dos oceanos pode prejudicar algumas espécies marinhas, como os corais, que apresentam em sua constituição carbonato de cálcio ($CaCO_3$).
III. Somente em 1999 observou-se a maior pressão parcial de CO_2 e o menor pH registrado das águas superficiais.
IV. Observando a reta que representa a tendência de variação dos dados, o aumento da pCO_2 é inversamente proporcional ao pH, e isso pode ser explicado pelo fato de o CO_2 ser um óxido molecular que apresenta caráter ácido em soluções aquosas.
V. Quando a pCO_2 foi igual a 310 µatm, o pH da água do mar foi de 8,105.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

4. Observe a tabela a seguir, que indica medições de valores de pH da água de várias amostras de chuva obtidas nos meses e anos indicados, e responda ao que se pede.

Valores médios de pH em água de chuva de diferentes regiões do Brasil

Local	Vila Parisi Cubatão (SP)	São Paulo (SP)	Amazônia Central (AM)	Rio de Janeiro (RJ)	Belo Horizonte (MG)	Piracicaba (SP)	São Paulo (SP)	Figueira (PR)	Candiota (RS)	Ilha Grande (RJ)
Data	4/1984-10/1985	10/1983-10/1985	10/1988-6/1990	9/1988-8/1989	10/1993-2/1994	8/1997-7/1998	7/2002-2/2003	6/1999-6/2000	1-6/2001	3-9/2002
pH	> 5,5	5,0	4,7	4,77	5,15	4,5	4,99	5,0	5,33	5,05

Fonte: FORNARO, A. Águas de chuva: conceitos e breve histórico. Há chuva ácida no Brasil? **Revista USP**, São Paulo, n. 70, p. 78-87, jun.-ago. 2006. Disponível em: https://www.revistas.usp.br/revusp/article/view/13533/15351. Acesso em: 14 out. 2024.

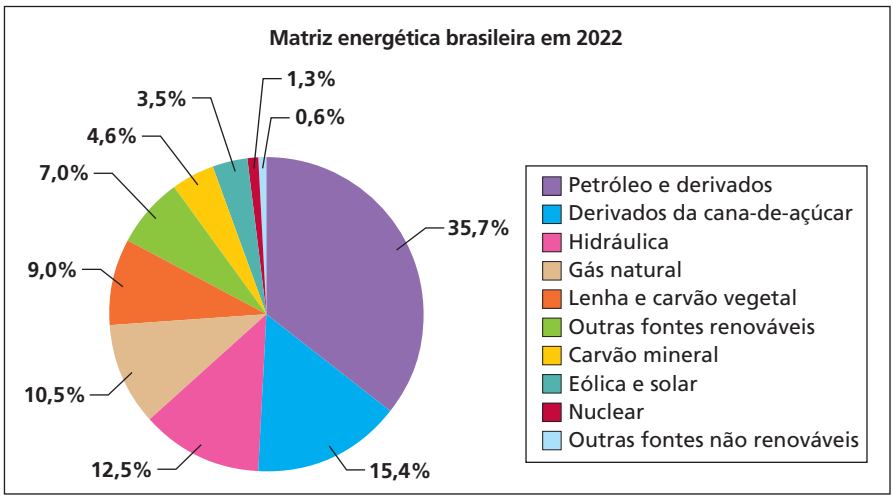
Comparação do pH da chuva em diferentes regiões do Brasil.

a. Em qual município foi medida a maior acidez na água da chuva? E a menor?

b. Em potência de 10, qual é a diferença entre os graus de acidez das amostras desses municípios?

5. Analise o gráfico que representa a matriz energética brasileira em 2022 e compare-o com o gráfico **Matriz energética mundial em 2021**, apresentado anteriormente nesse capítulo, para responder ao que se pede.

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA



Fonte: EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Matriz energética e elétrica**. [Brasília, DF]: Ministério de Minas e Energia, 2023. Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica. Acesso em: 23 ago. 2024.

Representação gráfica da matriz energética brasileira em 2022.

a. Qual é a participação percentual das fontes renováveis na matriz energética brasileira em comparação com a matriz energética mundial?

b. Como a dependência de combustíveis fósseis no Brasil se compara à média mundial?

c. Quais são as possíveis implicações ambientais e socioeconômicas da matriz energética brasileira no que diz respeito à emissão de gases de efeito estufa?

6. Leia a tirinha a seguir, de Calvin, e responda às perguntas:

a. Qual é a principal crítica ou reflexão proposta na tirinha?

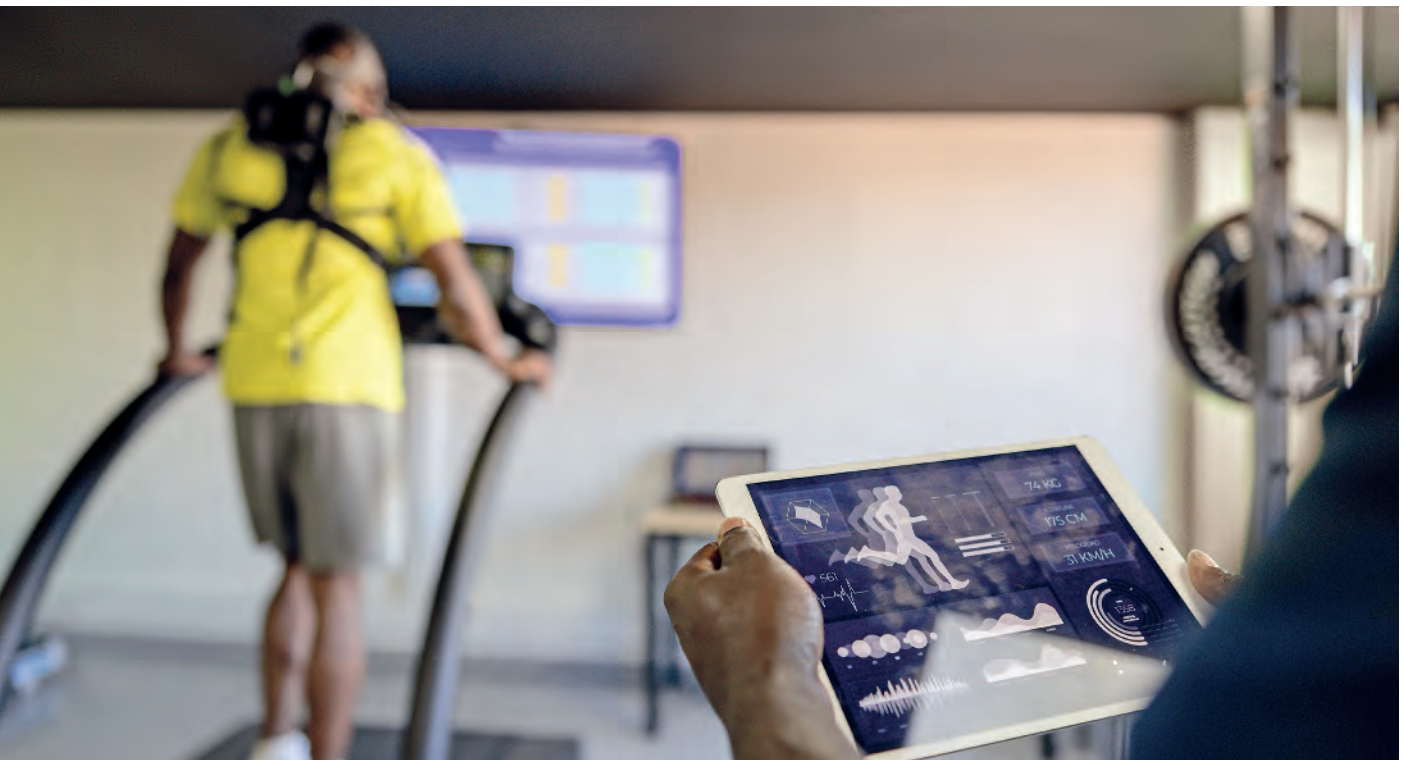
b. Como a interação entre Calvin e sua mãe contribui para a mensagem da tirinha?

c. Como suas escolhas diárias, por exemplo, o uso de transporte e o consumo de energia, podem influenciar o ambiente?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Capítulo 15

Substâncias que afetam a prática esportiva



ANDRESR/E+/GETTY IMAGES

O desempenho dos atletas de alto rendimento pode ser influenciado por diversas substâncias, inclusive presentes em alimentos e medicamentos.

Fique por dentro

Substância presente no espinafre pode causar *doping*, diz estudo

ELER, G. Substância presente no espinafre pode causar *doping*, diz estudo. **Superinteressante**, São Paulo, 26 jun. 2019. Disponível em: https://super.abril.com.br/ciencia/substancia-presente-no-espinafre-pode-causar-doping-diz-estudo. Acesso em: 16 set. 2024.

Esse artigo trata de uma substância não proibida pela WADA (World Anti-Doping Agency – Agência Mundial Antidopagem), mas que pode alterar o desempenho dos atletas.

As competições esportivas fazem parte da história da humanidade há bastante tempo. Os Jogos Olímpicos ou Olimpíadas são o maior expoente dessas competições, sendo que os primeiros registros históricos desse evento, que ocorriam na cidade grega de Olímpia, datam de 776 a.C. Os Jogos Olímpicos teriam se tornado populares a ponto de reunir 40 mil pessoas de diferentes regiões e cidades-Estados. Com a invasão romana, os jogos deixaram de ser realizados, até que em 1896, por iniciativa do historiador francês Pierre de Frédy (1863-1937), o Barão de Coubertin, foram realizados, na cidade grega Atenas, os primeiros Jogos Olímpicos da Era Moderna. Desde então, atletas de diferentes nacionalidades reúnem-se a cada quatro anos para competir como forma de celebrar a união entre os povos.

Há relatos de que, nos jogos antigos, os competidores tinham o hábito de consumir chá de ervas ou cogumelos antes das provas. Atualmente, sabemos que muitas plantas e algumas espécies de cogumelos produzem substâncias químicas estimulantes capazes de melhorar artificialmente o desempenho esportivo de quem as consumir. O uso de substâncias ou métodos com essa finalidade é uma das formas de **dopagem** (*doping*, em inglês), que é proibida em competições esportivas contemporâneas. Conforme será abordado neste capítulo, a ação dessas substâncias no organismo está associada à estrutura das moléculas. Assim, é importante compreender conceitos relacionados à diversidade dos compostos orgânicos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

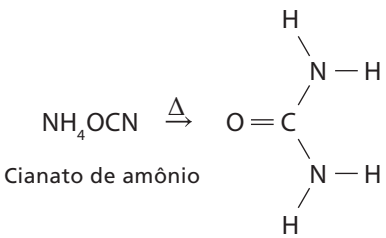
Isomeria

Os compostos orgânicos são conhecidos desde a Antiguidade. Registros indicam que, no século XIII, alquimistas conseguiram separar o etanol – então chamado de "espírito do vinho" – por meio da destilação do vinho. Ao longo da história, esses compostos foram utilizados de diversas maneiras, mas foi apenas em 1777 que o químico sueco Torbern Olof Bergman (1735-1784) começou a usar o termo "orgânico" para descrever compostos de origem animal e vegetal, diferenciando-os dos compostos inorgânicos, que pertencem ao reino mineral. No entanto, essa classificação gerou muitas controvérsias. Além disso, naquela época, já se fabricavam substâncias como sulfato de cálcio e ácido sulfúrico – com diferentes níveis de complexidade – a partir de várias matérias-primas e utilizando diversas técnicas. Entretanto, isso não ocorria em relação aos compostos que constituem os seres vivos.

Alguns químicos da época acreditavam que os seres vivos tinham uma "força vital" especial, capaz de transformar certas substâncias, como a glicose. Segundo essa hipótese, sem essa força, qualquer tentativa de síntese desses compostos seria inútil. O químico sueco Jöns Jacob Berzelius (1779-1848) foi um dos principais defensores da teoria da força vital do início do século XIX. De acordo com essa teoria, apenas os processos biológicos poderiam gerar compostos orgânicos, impossíveis de serem sintetizados em laboratório – em outras palavras, um composto orgânico só poderia ser criado por um ser vivo.

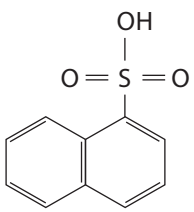
Em 1828, na tentativa de preparar cianato de amônio, $NH_4OCN(s)$, o químico alemão Friedrich Wöhler (1800-1882) primeiro aqueceu cianeto de prata, $AgCN(s)$, na presença de gás oxigênio do ar, formando o cianato de prata, $AgOCN(s)$. Esse composto foi então adicionado a uma solução de cloreto de amônio, $NH_4C\ell(aq)$, resultando em dois produtos: um precipitado de cloreto de prata, $AgC\ell$, e cianato de amônio, NH_4OCN, em solução.

Depois de filtrar o precipitado e evaporar o solvente, o cianato de amônio sólido foi formado. Ao aquecê-lo, Wöhler obteve ureia, $CH_4N_2O(s)$, na forma de cristais brancos. Considerando evidências experimentais de que as propriedades químicas e físicas do cianato de amônio e da ureia eram diferentes, Wöhler direcionou a atenção em seu trabalho para o fato de essas substâncias apresentarem a mesma composição elementar, ou seja, serem formadas por átomos de elementos químicos idênticos e na mesma quantidade.

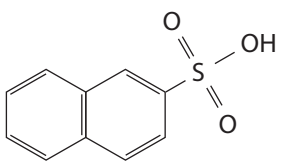


Cianato de amônio — Ureia

Em 1823, o químico alemão Justus von Liebig (1803-1873) já tinha feito uma observação similar à de Wöhler em relação aos compostos inorgânicos fulminato de prata (AgCNO) e cianato de prata (AgOCN). Em 1829, o físico e químico inglês Michael Faraday (1791-1867) observou que a reação de naftaleno com ácido sulfúrico gera dois ácidos orgânicos diferentes que apresentam a mesma fórmula molecular. As fórmulas estruturais atuais desses compostos são dadas a seguir.



Ácido naftaleno-1-sulfônico



Ácido naftaleno-2-sulfônico

Se possível, peça aos estudantes que pesquisem algumas propriedades de um dos pares de substâncias mencionados, para que percebam que são diferentes. Em seguida, peça-lhes que apontem semelhanças entre as substâncias, o que os levará a perceber que os dois compostos apresentam exatamente a mesma fórmula molecular.

Em 1830, Berzelius propôs uma explicação para a **isomeria**, fenômeno observado por esses e outros cientistas: "os mesmos elementos químicos unidos em mesmo número, mas de modo diferente (talvez numa posição diferente dos átomos), produzem compostos de propriedades e formas diferentes". Em outras palavras, pode-se afirmar que a isomeria é um fenômeno em que dois ou mais compostos diferentes apresentam a mesma fórmula molecular. Esses compostos são denominados **isômeros** (do grego *iso*, "mesmo", e *méros*, "parte").

Atualmente, a isomeria está dividida em duas grandes classes: **isomeria constitucional**, que estudaremos a seguir, e **estereoisomeria** ou **isomeria espacial**.

A síntese da ureia pode ser uma ótima oportunidade para discutir com os estudantes a maneira como o conhecimento científico é construído.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Registre em seu caderno

NA PRÁTICA Classificação dos compostos orgânicos

Até aqui, estudando Química Orgânica, fomos apresentados a diversos exemplos de compostos orgânicos diferentes. Mas, como se pode imaginar, há inúmeros outros que poderiam ser estudados. Para se ter uma ideia, o mais completo banco de dados de compostos orgânicos registra cerca de 219 milhões de substâncias diferentes. Estudar e catalogar tantos compostos diferentes demanda um sistema estruturado de reconhecimento, diferenciação e classificação.

Nesta atividade, em duplas, vocês vão analisar as estruturas de alguns compostos orgânicos, buscando semelhanças e diferenças estruturais para, depois, propor um algoritmo que permita organizá-los em diferentes classes.

OBJETIVO

Desenvolver habilidades relacionadas ao pensamento computacional ao analisar, reconhecer, diferenciar e classificar os compostos orgânicos.

PREPARE-SE!

- De que forma pode-se classificar os compostos orgânicos? Pesquise sobre as características dos compostos orgânicos que podem ser úteis para classificá-los.

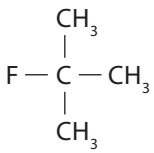
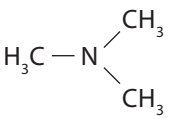
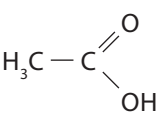
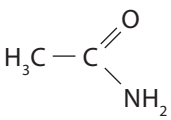
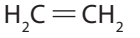
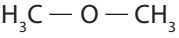
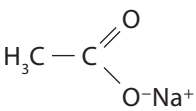
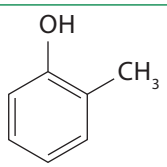
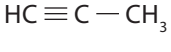
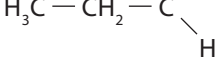
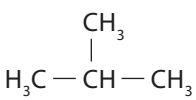
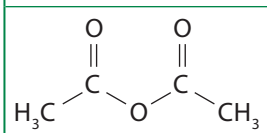
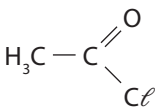
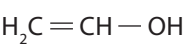
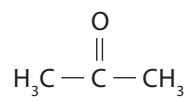
MATERIAL

- Folha de papel
- Lápis
- Canetas coloridas

PROCEDIMENTO

- Descrevam uma característica que permita separar estes compostos do quadro a seguir em dois grupos. Para ajudar a organizar a informação, identifiquem esses novos grupos como A e B.

Compostos orgânicos a serem caracterizados

- Agora, analisem os compostos que estão no grupo A e indiquem uma característica que permita separá-los em dois outros grupos (grupos C e D). Repitam esse procedimento para os compostos que estão no grupo B, organizando-os nos grupos E e F, segundo uma característica distintiva.
- Esse procedimento será o mesmo para obter grupos com cada vez menos compostos até que reste a estrutura de apenas um composto.
- Em uma folha avulsa, representem o algoritmo, ou seja, a sequência de passos que vocês seguiram para diferenciar os compostos apresentados; essa representação pode ser feita na forma de uma

Continua

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Continuação

lista ou de um fluxograma. Ao final, contabilizem o número de passos no algoritmo elaborado pela sua equipe.

- Reúnam-se aos colegas de outra dupla e compartilhem os algoritmos elaborados. Qual dos algoritmos apresenta menos passos?
- Compartilhem os algoritmos com toda a turma e discutam as diferentes abordagens e a importância de elaborar algoritmos curtos.

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. Quais são as classes funcionais dos compostos apresentados no quadro desta seção? Caso seja necessário, consulte os capítulos 8, 13 e 14.
2. Relembre as decisões tomadas para identificar as caraterísticas e diferenciar os compostos.
   a. Quais características das moléculas são relevantes para organizar e diferenciar as moléculas orgânicas em classes funcionais?
   b. Quais padrões existem nessas decisões?
3. No algoritmo elaborado, ao inverter a ordem com a qual as características são apresentadas, seria possível atingir o mesmo objetivo?

Tipos de isomeria constitucional

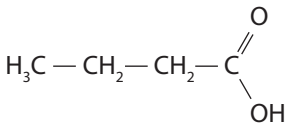
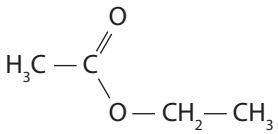
Na isomeria constitucional, as diferenças entre os compostos isômeros se devem às diferenças nas ligações químicas entre os átomos, como no caso citado dos ácidos derivados do naftaleno. A seguir, são sistematizadas as diferentes formas sob as quais a isomeria constitucional pode ocorrer.

Isomeria de função

Suponha que um técnico de laboratório deseja descartar um reagente que já passou do prazo de validade e, em razão de o rótulo estar danificado pelo tempo, só consegue observar a fórmula molecular ($C_4H_8O_2$) e a massa molecular (88 u) do reagente.

Pela análise do rótulo, o técnico de laboratório pode afirmar que a substância contida no frasco é o ácido butanoico? Para responder a essa questão, vamos comparar as informações da tabela a seguir.

Características de compostos que apresentam isomeria de função

Nome	Fórmula estrutural	TF (°C) a 1 atm	TE (°C) a 1 atm	Aplicações
Ácido butanoico		–5,1	163,7	Utilizado na produção de fármacos e aroma artificial de manteiga.
Acetato de etila (etanoato de etila)		–83,8	77,1	Utilizado na produção de aromas artificiais de frutas.

Fonte: LIDE, D. R. **CRC Handbook of Chemistry and Physics**. 96th ed. Boca Raton: CRC Press, 2016.

Algumas características de compostos cuja fórmula molecular é $C_4H_8O_2$.

Podemos notar na tabela que as duas substâncias têm a mesma composição elementar ($C_4H_8O_2$) e, portanto, a mesma massa molecular (*MM* = 88 u), mas suas propriedades — temperaturas de fusão e de ebulição — têm valores diferentes. Portanto, o ácido butanoico e o etanoato de etila são isômeros. Observe também na tabela que as duas substâncias têm funções químicas distintas: um ácido carboxílico, caracterizado pela presença do grupo terminal carboxila, —COOH; e um éster, derivado do ácido carboxílico pela substituição do hidrogênio do grupo hidroxila, —OH, por uma cadeia carbônica. Quando duas ou mais substâncias isômeras têm funções químicas diferentes, elas são classificadas como **isômeros funcionais**.

Os ácidos carboxílicos e os ésteres são abordados, respectivamente, nos capítulos 18 e 8.

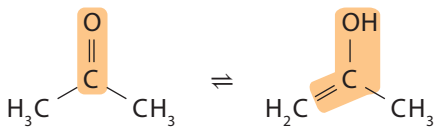
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Como é impossível diferenciar esses isômeros por meio da fórmula molecular, não se pode afirmar que a substância contida no frasco é o ácido butanoico. Isso mostra a importância da rotulagem adequada dos produtos para evitar erros em seu descarte.

Tautomeria

Existem isômeros que poderiam ser classificados como funcionais por pertencerem a funções químicas diferentes. No entanto, esses compostos coexistem em um mesmo meio, pois um se transforma no outro constantemente.

Um exemplo é a reação reversível conhecida como **equilíbrio cetoenólico** (em que *ceto* designa a função cetona e *enólico*, a função enol). Observe a diferença entre a propan-2-ona e o prop-1-en-2-ol, que apresentam a fórmula molecular C_3H_6O, comparando os grupos funcionais destacados.



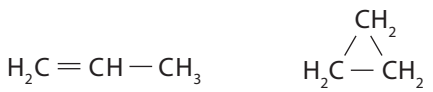
Propan-2-ona (cetona) ⇌ Prop-1-en-2-ol (enol)

Mesmo que fosse possível isolar uma fração contendo apenas um dos compostos, eles continuariam a se transformar uns nos outros, restabelecendo o equilíbrio. Esse fenômeno é conhecido como **tautomeria**.

Os conceitos fundamentais de equilíbrio químico são abordados no capítulo 12. A classe funcional das cetonas é abordada no capítulo 18.

Isomeria de cadeia

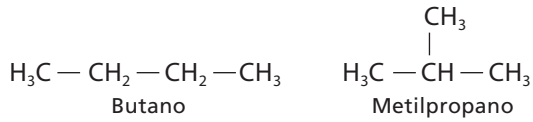
Vamos comparar agora o propeno ao ciclopropano. O propeno é uma das matérias-primas empregadas na fabricação de painéis e para-choques automobilísticos. O ciclopropano tem propriedades anestésicas e é bastante inflamável. Ambos são gases a 25 °C e 1 atm e têm fórmula molecular C_3H_6. Eles pertencem ao mesmo grupo funcional, os hidrocarbonetos, compostos orgânicos constituídos apenas de átomos de carbono e de hidrogênio. Suas fórmulas estruturais são apresentadas a seguir.



Propeno — Ciclopropano

Note que o propeno é um composto de cadeia aberta, enquanto o ciclopropano é um composto de cadeia fechada ou cíclica. Em razão dessa diferença no tipo de cadeia carbônica, eles são classificados como **isômeros de cadeia**.

Vamos analisar mais um exemplo. O butano é empregado com outras substâncias, como combustível em fogões na forma de gás liquefeito de petróleo (GLP). O metilpropano é utilizado como fluido refrigerante em geladeiras domésticas e é também altamente inflamável. Ambos têm fórmula molecular C_4H_{10}. Suas fórmulas estruturais são indicadas a seguir.



Butano — Metilpropano

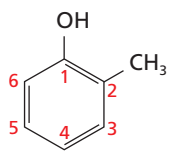
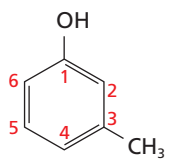
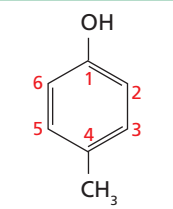
Note que novamente eles são hidrocarbonetos. O butano é um composto de cadeia linear (os átomos de carbono estão ligados todos em sequência), enquanto o metilpropano apresenta cadeia ramificada. Em razão dessa diferença no tipo de cadeia carbônica, eles também são classificados como isômeros de cadeia.

Isomeria de posição

A classe funcional dos fenóis é abordada no capítulo 18.

Os cresóis são um grupo de substâncias da classe funcional fenol, compostos caracterizados pela presença do grupo hidroxila, —OH, ligados diretamente a um anel benzênico. Os cresóis são encontrados em certas formulações de removedores de tinta e são bastante usados como intermediários em diversas sínteses industriais, como na produção de resinas e antissépticos. Algumas das características dos cresóis são apresentadas na tabela a seguir.

Características de compostos que apresentam isomeria de posição

Nome	Fórmula molecular	Fórmula estrutural	TF (°C) a 1 atm	TE (°C) a 1 atm
2-metil-fenol ou *o*-cresol	C_7H_8O		31,0	191,0
3-metil-fenol ou *m*-cresol	C_7H_8O		12,2	202,2
4-metil-fenol ou *p*-cresol	C_7H_8O		34,8	201,9

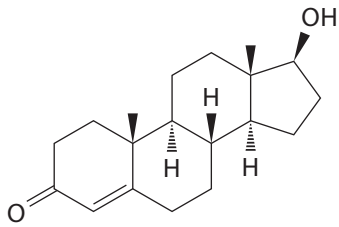
Fonte: LIDE, D. R. **CRC Handbook of Chemistry and Physics**. 96th ed. Boca Raton: CRC Press, 2016.

Exemplos e algumas características de compostos que apresentam isomeria de posição.

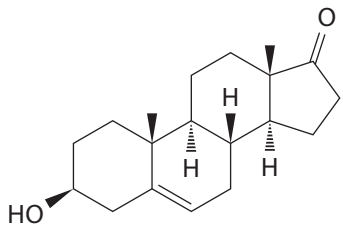
Os três compostos apresentam a mesma fórmula molecular (C_7H_8O) e, portanto, a mesma massa molecular relativa (*MM* = 108 u). No entanto, pela análise das fórmulas estruturais, notamos que o grupo substituinte metil (—CH_3) está localizado em posições diferentes no anel benzênico em relação ao grupo —OH. Nesse caso, eles são classificados como **isômeros de posição**.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

No contexto do *doping* esportivo, existe um curioso caso de isomeria de posição entre o hormônio testosterona e um precursor, a desidroepiandrosterona (DHEA). Esta última é utilizada por alguns atletas como *doping* por vários motivos, entre eles, como agente anticatabólico (evita a perda de massa muscular) e para aumentar os níveis de testosterona, pois se trata de uma molécula precursora desse hormônio.



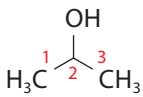
Testosterona



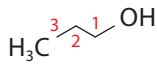
Desidroepiandrosterona (DHEA)

A detecção de DHEA é complexa, pois no organismo ela se converte em testosterona e epitestosterona. Note que, nas fórmulas estruturais da testosterona e da DHEA, os grupos funcionais cetona e álcool estão invertidos, bem como a posição da dupla ligação entre átomos de carbono. Ambas configuram um par de isômeros de posição.

Além da diferença na posição de um grupo substituinte (grupo que substitui um átomo de hidrogênio), isômeros de posição também podem apresentar diferença na posição do grupo funcional e das insaturações (ligações duplas ou triplas) na cadeia carbônica, como representado a seguir.



Propan-2-ol

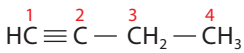


Propan-1-ol

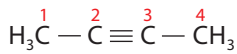
Comente que o propan-2-ol, também chamado de álcool isopropílico, é aplicado na limpeza de componentes eletrônicos.

Podemos notar que ambos os compostos são álcoois de cadeia aberta e de mesma fórmula molecular (C_3H_8O). Contudo, o propan-2-ol apresenta o grupo funcional hidroxila (—OH) no átomo de carbono 2 da cadeia, enquanto no propan-1-ol o grupo funcional está no átomo de carbono 1.

Já no caso a seguir, temos hidrocarbonetos de cadeia aberta e insaturada que têm a mesma fórmula molecular (C_4H_6).



But-1-ino



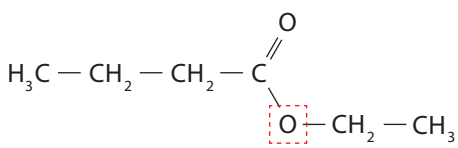
But-2-ino

A classe funcional dos álcoois é discutida no capítulo 8.

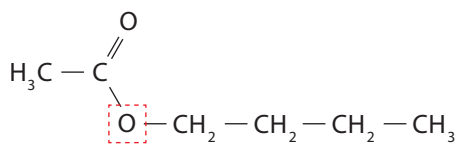
Podemos notar que o but-1-ino apresenta a ligação tripla entre os átomos de carbono 1 e 2, enquanto no but-2-ino a ligação tripla localiza-se entre os átomos de carbono 2 e 3.

Metameria ou isomeria de compensação

Um tipo particular de isomeria de posição se refere a isômeros que apresentam **cadeias heterogêneas**, ou seja, cadeias nas quais a sequência de átomos de carbono é interrompida por um átomo diferente de carbono. Observe as fórmulas estruturais do butanoato de etila, utilizado para reproduzir o aroma característico de abacaxi, e do etanoato de butila, empregado na reprodução do aroma de maçã verde.



Butanoato de etila



Acetato de butila
(etanoato de butila)

Chame a atenção dos estudantes para o fato de que os álcoois não apresentam metameria, pois o átomo de oxigênio do grupo hidroxila (—OH) está sempre fora da cadeia carbônica. Situação similar acontece com as aminas primárias (monossubstituídas).

Ambos são ésteres que têm a mesma fórmula molecular ($C_6H_{12}O_2$), ou seja, são isômeros que pertencem à mesma função química, mas com cadeias heterogêneas que se diferenciam pela posição do heteroátomo (o átomo de oxigênio). Esse tipo de isomeria é chamado **metameria** ou **isomeria de compensação**.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADE COMENTADA

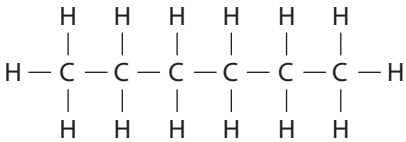
Ao substituirmos um átomo de hidrogênio do hexano por um átomo de cloro, quantos isômeros de posição poderemos formar? Desenhe a fórmula estrutural de todos os isômeros e dê seus respectivos nomes de acordo com as normas da IUPAC.

Analisar o enunciado

A questão requer que façamos substituições de diferentes átomos de hidrogênio por um átomo de cloro. Podemos começar desenhando a molécula referida.

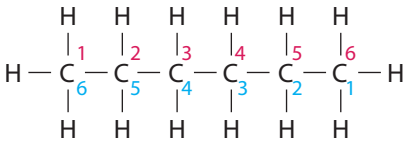
Selecionando as informações relevantes

As moléculas do composto hexano têm seis átomos de carbono (hex) ligados entre si por ligações simples (an). Assim, temos a seguinte fórmula estrutural.

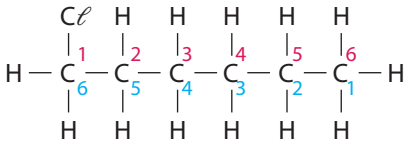


Aplicar o conceito estudado

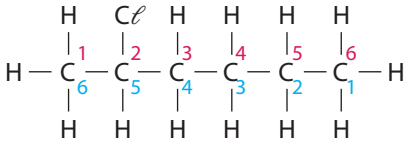
Atribuindo duas numerações (uma começando da esquerda, em rosa, e outra da direita, em azul) temos:



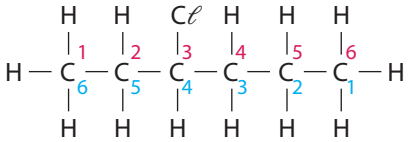
Note que, ao substituirmos qualquer átomo de hidrogênio das posições 1 ou 6 (rosa) ou 6 e 1 (azul) por um átomo de cloro, teremos o isômero 1-cloro-hexano.



Ao substituir qualquer átomo de hidrogênio das posições 2 ou 5 (rosa) ou 5 e 2 (azul) por um átomo de cloro, obtemos o isômero 2-cloro-hexano.



A substituição de um átomo de hidrogênio das posições 3 ou 4 (rosa) ou 4 e 3 (azul) por um átomo de cloro, vai resultar no isômero 3-cloro-hexano.



Verificar a solução

Dessa forma, são possíveis três isômeros de posição. Perceba que os isômeros 4-cloro-hexano, 5-cloro-hexano e 6-cloro-hexano não existem, visto que sua nomenclatura correta seria, respectivamente, 3-cloro-hexano, 2-cloro-hexano e 1-cloro-hexano.

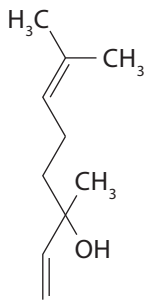
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Aplique e registre

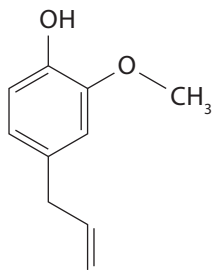
Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

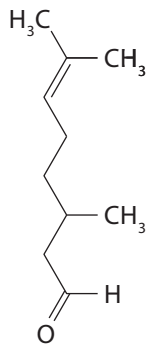
1. Considere as seguintes fórmulas estruturais de alguns componentes de óleos essenciais responsáveis pelo aroma de certos tipos de ervas e flores.



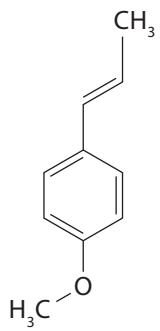
Linalol



Eugenol



Citronelal



Anetol

Entre esses compostos indicados, quais são isômeros e qual é a diferença entre eles?

Continua

Continuação

2. (UFTM-MG) O éter etílico, etoxietano, é um composto orgânico, empregado na medicina, e que tem efeito anastésico. Os compostos que apresentam com o extoxietano isomeria de função e metameria são, respectivamente: 2. Alternativa **a**.

a. butanol e metoxipropano.
b. butanona e butanol.
c. etanoato de etila e butanal.
d. butano e butanol.
e. metoxipropano e butanal.

Esclareça aos estudantes que, de acordo com as novas regras de nomenclatura de compostos orgânicos, os nomes dos compostos butanol e metoxipropano, mencionados na atividade 2, são: butan-1-ol e 1-metoxipropano.

Substâncias proibidas antes e/ou durante as competições

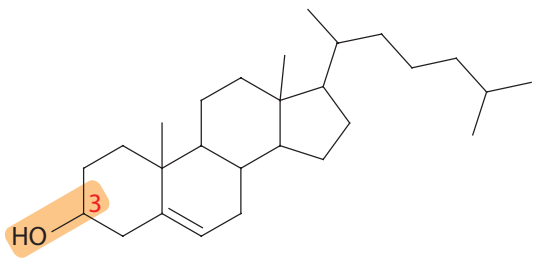
OBJETO DIGITAL
***Podcast*: Exames para controle de dopagem em atletas**

A conceituação do termo "*doping*" está descrita no Código Mundial Antidopagem e foi apresentada pela Agência Mundial Antidopagem, conhecida como WADA (*World Anti-Doping Agency*). Ao todo, são nove classes de substâncias proibidas, sendo que algumas delas serão descritas a seguir.

Esteroides

Os **esteroides** são uma classe de compostos orgânicos que apresentam estrutura química constituída por 17 átomos de carbono ligados em quatro anéis fundidos, três deles com seis átomos de carbono e um com cinco átomos de carbono. Os esteroides que têm um grupo hidroxila (—OH) ligado ao átomo de carbono na posição 3 são denominados **esteróis**; nesse caso, o uso do sufixo **ol** é um exemplo de aplicação da nomenclatura semissistemática.

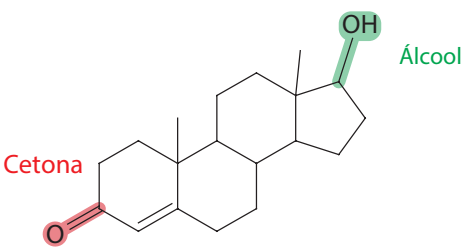
O colesterol é um exemplo desse grupo de compostos. Aproximadamente 75% do colesterol de que nosso organismo precisa é produzido naturalmente pelo fígado (origem endógena), e os outros 25% são provenientes dos alimentos que ingerimos (origem exógena). Esse composto não é necessariamente prejudicial ao organismo. Pelo contrário, o colesterol é uma substância essencial para o funcionamento de diversas atividades do corpo humano, como a formação das membranas das células eucarióticas, a síntese de hormônios, a digestão de alimentos gordurosos etc.



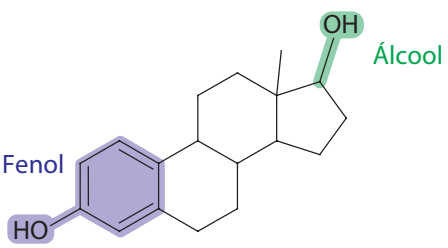
Colesterol

Esteroides anabolizantes androgênicos (EAA)

Os hormônios esteroides são sintetizados a partir do colesterol e podem ser divididos em dois grupos: hormônios sexuais e esteroides suprarrenais. Os principais hormônios sexuais são o estrogênio, a progesterona e a testosterona, produzidos em quantidades diferentes em pessoas do sexo biológico feminino e masculino e responsáveis pelo desenvolvimento das características sexuais secundárias observadas a partir da adolescência até a fase adulta. Os hormônios sexuais são produzidos naturalmente, principalmente pelas gônadas e, portanto, são chamados **esteroides endógenos naturais**.



Testosterona



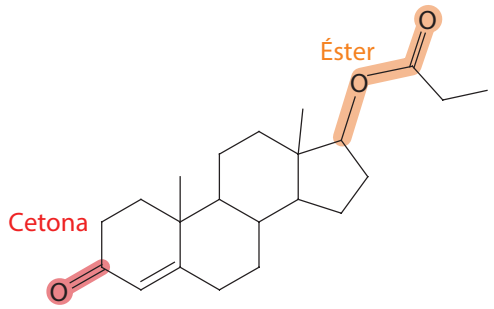
Estradiol

O estrogênio é produzido principalmente pelos ovários e em menor quantidade pelas glândulas suprarrenais, tecido adiposo e testículos; a progesterona é produzida pelo corpo lúteo e em menor quantidade pelas glândulas adrenais; e a testosterona é produzida majoritariamente pelos testículos e pelas glândulas adrenais.

Além da participação na produção de espermatozoides, a testosterona também apresenta efeito **anabolizante**, ou seja, promove o crescimento e amadurecimento de tecidos não reprodutores, como músculos e ossos, além de participar da formação de determinadas células e plaquetas sanguíneas.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Durante a segunda metade do século passado, os avanços nas áreas da Química Orgânica e da Biotecnologia foram responsáveis pela implementação de novas técnicas terapêuticas envolvendo EAA exógenos, que apresentam ação semelhante à do hormônio testosterona no organismo. Essas substâncias são obtidas por meio de reações químicas que alteram a estrutura da testosterona e são adotadas em tratamentos médicos desde o período da Segunda Guerra Mundial para a recuperação de pessoas desnutridas; atualmente são indicadas no tratamento de hipogonadismo masculino – mau funcionamento dos testículos – e de deficiência no metabolismo de proteínas. O propionato de testosterona é um exemplo de EAA exógeno.



Propionato de testosterona

Note que, em relação à testosterona, na molécula do propionato de testosterona há um grupo éster. Essa alteração na molécula, classificada como **esterificação**, confere a esse EAA maior caráter hidrofóbico, retardando a sua liberação na circulação sanguínea e, consequentemente, prolongando sua ação no organismo.

Com o tempo, atletas de todo o mundo passaram a tirar proveito dos efeitos anabólicos dos EAA, naturais ou sintéticos, para melhorar artificialmente o desempenho em competições desportivas, prática que configura dopagem. O primeiro registro dessa prática é de 1954, quando atletas russos obtiveram excelentes resultados em um campeonato de halterofilismo realizado em Viena, Áustria. Nesse cenário, a primeira resolução do Comitê Olímpico Internacional (COI) contra a dopagem surgiu em 1962, e o controle dessas práticas foi instituído em 1967.

O uso inapropriado ou indiscriminado de EAA traz diversos problemas físicos, que podem desencadear aumento na ocorrência de acne e da quantidade de pelos, crescimento ou surgimento de mamas (ginecomastia) e atrofia testicular. Além disso, pode ter efeitos tóxicos como flutuações no humor, agressividade, psicose, depressão e ansiedade, além de propensão à formação de tumores no fígado.

Em abril de 2023, o Conselho Federal de Medicina (CFM) do Brasil proibiu o uso de terapias hormonais para ganho de massa muscular. A medida foi tomada para proteger os usuários dos graves efeitos dos esteroides, em especial os jovens, que podem ter alterações irreversíveis. Essas alterações podem ocorrer tanto no desenvolvimento físico como no desenvolvimento mental e sexual dos jovens.

Estimulantes

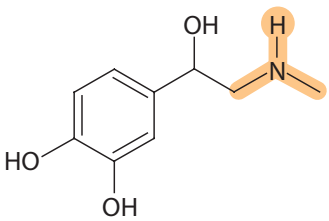
No mesmo ano em que o COI instituiu o controle sobre as práticas de dopagem, o ciclismo mundial perdeu um de seus maiores atletas, o ciclista inglês Tom Simpson (1937-1967), que morreu durante a competição Volta da França em decorrência do uso combinado de anfetaminas e álcool. As anfetaminas fazem parte de um grupo de substâncias que agem no sistema nervoso central (SNC) promovendo o aumento do estado de alerta e da motivação, podendo também ter efeitos antidepressivos. Além das anfetaminas, os **alcaloides** – cafeína, cocaína, nicotina e efedrina, por exemplo – também são substâncias estimulantes.

Alcaloides: Plural de *alcaloide*. Composto orgânico nitrogenado, geralmente encontrado em plantas, que tem propriedades farmacológicas, muitas vezes com efeito tóxico ou terapêutico. Em geral, os alcaloides têm caráter básico e são conhecidos por suas atividades biológicas.

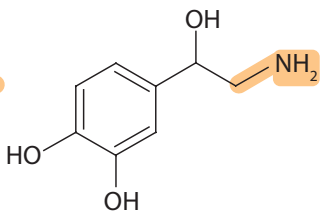
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Essas substâncias também causam efeitos colaterais no organismo, como alterações no humor e aumento da concentração; por isso, algumas delas são empregadas pela medicina no tratamento do transtorno do déficit de atenção e hiperatividade (TDAH). Algumas dessas substâncias promovem a dilatação dos brônquios ou a constrição dos vasos sanguíneos, podendo ser empregadas no controle dos sintomas de gripes e resfriados.

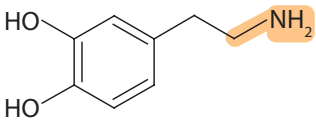
O organismo humano é capaz de produzir inúmeras substâncias estimulantes. Entre elas, a adrenalina, a noradrenalina, a dopamina, a serotonina, a acetilcolina e a anandamida, moléculas que funcionam também como neurotransmissores, responsáveis pela comunicação das células do SNC entre si e com outras células no organismo. Alguns desses compostos estão representados a seguir.



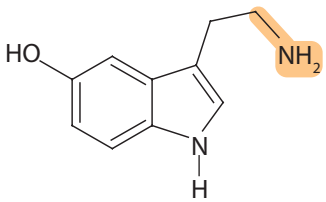
Adrenalina



Noradrenalina

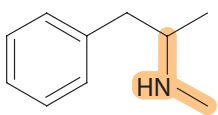


Dopamina

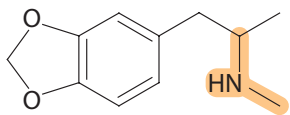


Serotonina

Entretanto, existem ainda outros estimulantes sintéticos, os quais costumam ser utilizados como drogas, como a metanfetamina e o *ecstasy*, ou MDMA, sigla para a nomenclatura semissistemática metilenodioximetanfetamina. As estruturas desses compostos estão representadas a seguir.



Metanfetamina



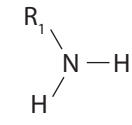
Ecstasy (MDMA)

Note que todas as substâncias apresentam átomos de nitrogênio em suas estruturas e que a forma como o átomo de nitrogênio está conectado aos demais átomos é característica da classe funcional das **aminas**.

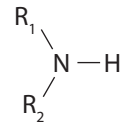
Aminas

As amidas serão abordadas no capítulo 19.

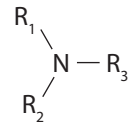
As **aminas** são compostos orgânicos derivados da amônia, NH_3, em que um, dois ou três átomos de hidrogênio são substituídos por cadeias carbônicas alifáticas ou aromáticas, o que as caracteriza como **aminas primárias**, **secundárias** ou **terciárias**, respectivamente. Elas estão representadas de forma genérica a seguir.



Amina primária



Amina secundária



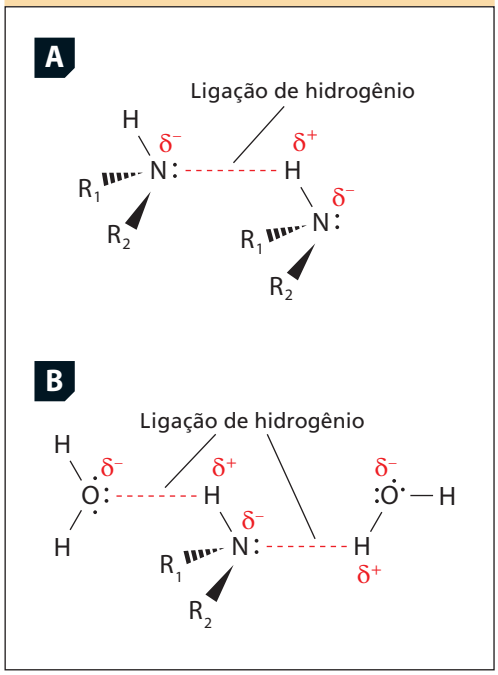
Amina terciária

Essas substituições influenciam as propriedades físico-químicas das substâncias e são, em parte, responsáveis pelas diferentes ações dos estimulantes no organismo.

Solubilidade das aminas

As aminas são grupos funcionais que tornam a molécula ou parte da molécula polar. Isso ocorre por causa da maior eletronegatividade do átomo de nitrogênio em relação aos átomos de hidrogênio e de carbono e, também, em razão da presença de um par de elétrons não compartilhados no átomo de nitrogênio. Essa característica permite que as moléculas das aminas primárias e secundárias interajam entre si por meio de ligações de hidrogênio, como representado a seguir, tornando-as solúveis em água e solventes polares. As moléculas de aminas terciárias são também polares, mas não interagem por meio de ligações de hidrogênio, e sim por forças de Keesom.

Ligação de hidrogênio envolvendo amina



Representação esquemática das ligações de hidrogênio **(A)** entre as moléculas de amina secundária e **(B)** entre uma amina secundária e moléculas de água.

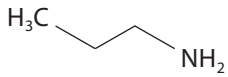
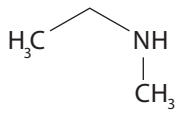
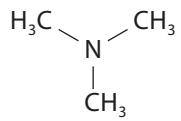
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Temperaturas de fusão e de ebulição das aminas

A estrutura das moléculas das aminas e o tipo de interação existente entre elas, como a possibilidade de formar ligações de hidrogênio, também influenciam as temperaturas de fusão e de ebulição dessas substâncias.

A tabela a seguir apresenta um comparativo entre três aminas de mesma massa molecular (*MM* = 59 u).

Temperaturas de fusão e de ebulição de aminas

Nome	Fórmula estrutural	TF (°C)	TE (°C)
Propanamina		–83	48
N-metiletanamina		–98	37
Trimetilamina		–117	3

Fonte: LIDE, D. R. **CRC Handbook of Chemistry and Physics**. 96th ed. Boca Raton: CRC Press, 2016.

Temperaturas de fusão e de ebulição de aminas primárias, secundárias e terciárias de mesma massa molecular a 1 atm.

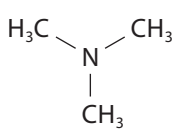
Observe que, à medida que os átomos de hidrogênio ligados ao átomo de nitrogênio são substituídos, as temperaturas de fusão e de ebulição decrescem. Isso pode ser explicado pela diminuição das possibilidades de formação de ligações de hidrogênio.

Nomenclatura das aminas

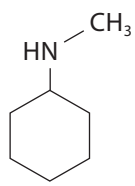
Na nomenclatura sistemática das aminas, o **prefixo** estará relacionado à cadeia principal, ou seja, à porção da molécula que contém o maior número de átomos de carbono em sequência; o **infixo** será indicado de acordo com o tipo de ligação verificada entre os átomos de carbono na cadeia principal; e, por fim, adiciona-se ao nome do composto o **sufixo** "amina" para identificar o grupo funcional. O símbolo "*N*" é usado para localizar os grupos substituintes ligados diretamente ao átomo de nitrogênio e, caso seja necessário indicar a localização dos grupos substituintes ligados aos átomos de carbono, a numeração deve iniciar na extremidade da cadeia principal mais próxima do grupo funcional.

No entanto, outras formas de nomenclatura para as aminas são aceitas pela IUPAC. Uma delas, bastante utilizada para identificar aminas secundárias e terciárias mais simples, determina que todos os grupos ligados ao átomo de nitrogênio sejam nomeados como substituintes (prefixo + terminação **il**) e indicados em ordem alfabética seguidos pela terminação "amina". Havendo grupos iguais, deve-se usar os multiplicadores "di", "tri" etc. antes do nome do prefixo. Entretanto, esses multiplicadores não são considerados para efeitos de ordenação alfabética. Por exemplo, o prefixo **e**til é escrito antes do prefixo **m**etil independentemente de haver dois grupos metil: *N*-etil-*N*,*N*-dimetilamina.

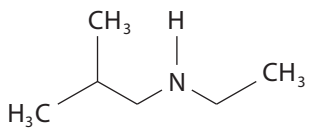
A seguir são apresentados alguns exemplos da aplicação das regras de nomenclatura das aminas.



Trimetilamina
ou
N,*N*-dimetilmetanamina



Ciclo-hexilmetilamina
ou
N-metilciclo-hexanamina



Etilisobutilamina
ou
N-etil-2-metilpropan-1-amina

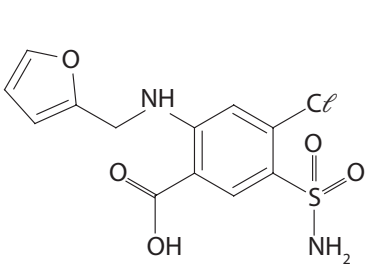
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Como estudado, algumas dessas moléculas apresentam capacidade de agir no organismo como estimulante e, por isso, são utilizadas como estratégia artificial de melhoria de desempenho e de controle de massa corporal para garantir sessões mais longas de treinamento. Vale ressaltar que o Código Mundial Antidopagem, em vigor desde 2015, prevê o controle do uso dessas substâncias unicamente nos períodos de competição, ou seja, seu uso é permitido durante as temporadas de preparação, fora dos calendários das competições.

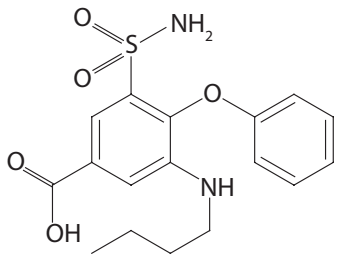
O uso dessas substâncias de maneira abusiva pode resultar em quadros de perturbação que incluem agitação, insônia, ansiedade e comportamento agressivo. Além disso, seu uso prolongado pode desencadear um processo de dependência e trazer riscos mais sérios à saúde, como reações psicóticas, esquizofrenia, hipertensão, falência dos rins e problemas cardíacos.

Diuréticos

Todas as substâncias que atuam no organismo de forma a promover o aumento da produção de urina são classificadas como diuréticos. Essas substâncias são essenciais em tratamentos médicos que requerem o controle da composição dos fluidos corporais. Por exemplo, hipertensão, insuficiência cardíaca, hepatites e disfunções renais. A furosemida e a bumetanida são dois exemplos de diuréticos usados como fármacos.



Furosemida



Bumetanida

Esses medicamentos ajudam a perder massa corporal, por meio da eliminação de água. Por isso, seu uso é bastante comum entre os atletas de modalidades esportivas em que as categorias são separadas por faixas de peso. Outra situação em que essas substâncias são usadas envolve a coleta de amostras de urina para os testes antidopagem, uma vez que um maior volume de urina diminui a concentração nas amostras, dificultando a identificação de outras substâncias, como os EAA e os estimulantes.

O controle da composição dos fluidos corporais é de grande importância para as funções fisiológicas, uma vez que muitos compostos essenciais para o funcionamento adequado são absorvidos pelo organismo, participam dos processos fisiológicos apenas em sua forma iônica e, em geral, estão solvatados no plasma sanguíneo.

O uso de diuréticos por pessoas saudáveis, como atletas que precisam perder peso rapidamente, pode levar a quadros severos de desidratação, com a diminuição do volume sanguíneo e a perda acentuada de eletrólitos e nutrientes, em especial de íons potássio, o que pode aumentar a ocorrência de câimbras e provocar a perda do apetite.

Substâncias dissolvidas no sangue

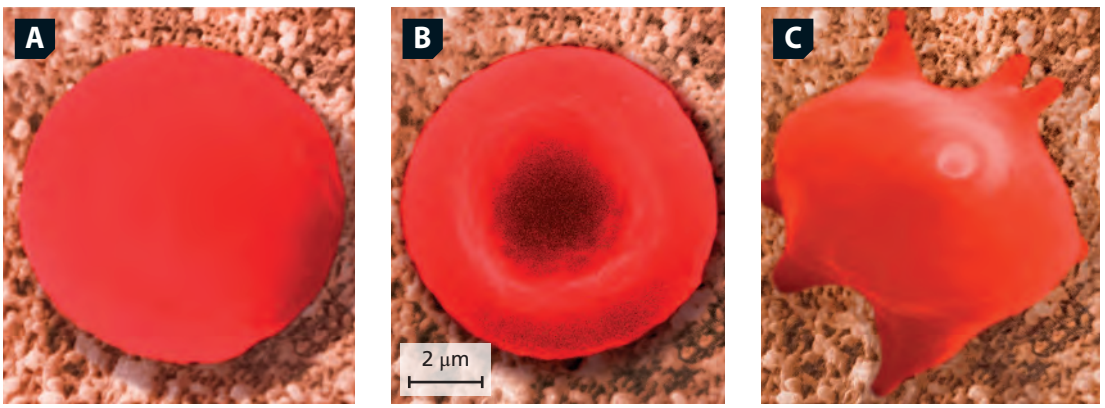
Cerca de 55% do volume do sangue é constituído de plasma sanguíneo, líquido composto de água, eletrólitos e proteínas variadas.

Esses eletrólitos têm diversas funções e precisam ser repostos por meio da alimentação. Entre os atletas, é muito comum que essa reposição seja feita por meio de suplementos alimentares classificados como repositores hidroeletrolíticos ou, simplesmente, bebidas isotônicas (do grego: *isos*, que significa "igual", e *tonos*, que significa "tensão", cuja interpretação neste contexto pode ser "concentração").

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Nessas bebidas, a concentração dos eletrólitos é semelhante à do plasma sanguíneo, o que favorece a absorção de água e dos eletrólitos pelas células. A água de coco verde é um isotônico natural, entretanto a água de coco maduro, que apresenta uma solução hipotônica, pode diminuir a concentração desses eletrólitos no sangue de quem a consumir. Nessa situação, as células passam a ser hipertônicas em relação ao meio externo (ou o meio externo se torna hipotônico em relação às células), aumentando o fluxo de água para o interior das células.

Em um meio hipotônico (A), há entrada de solvente nas hemácias, levando ao aumento do volume e podendo causar o rompimento das paredes da célula (lise celular). Em um meio isotônico (B), o volume da célula se mantém normal, pois não há diferença de concentração de solutos dentro dela e no meio extracelular. Em um meio hipertônico (C), há saída de solvente da hemácia para o meio extracelular. Isso causa a diminuição do volume da célula e ela se torna plasmolisada.



FOTOS: DAVID M. PHILLIPS/SCIENCE SOURCE/FOTOARENA

Hemácias, células sanguíneas também conhecidas como glóbulos vermelhos ou eritrócitos, em meio hipotônico **(A)**, em meio isotônico **(B)** e em meio hipertônico **(C)**. (Imagens obtidas com microscópio eletrônico e ampliadas cerca de 5.000 vezes. As hemácias humanas apresentam diâmetro médio de 7 µm.)

Sais de reidratação oral

ODS 3

Durante a década de 1980, o Fundo das Nações Unidas para a Infância (Unicef) lançou um programa voltado para a sobrevivência e o desenvolvimento infantil. A ação concentrava esforços em quatro métodos eficazes de preservação da vida das crianças: acompanhamento do desenvolvimento infantil, aleitamento materno, imunização e uso dos sais de reidratação oral (em inglês, *oral rehydratation salts*, ORS). Os ORS são considerados a melhor forma de combater a desidratação causada pela diarreia.

SCIENCE & SOCIETY PICTURE LIBRARY/GETTY IMAGES

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), em 1982, a diarreia aguda causou a morte de cerca de 5 milhões de crianças em todo o mundo. No entanto, a ingestão de água – medida óbvia de combate à desidratação – não resolvia o problema, porque a água percorria o trato digestivo das crianças enfermas sem ser adequadamente absorvida pelos tecidos do organismo. Uma das alternativas nesse caso seria a reidratação intravenosa, mas, além de invasivo e traumático para os pequenos pacientes, o procedimento só poderia ser realizado por médicos ou profissionais capacitados, nem sempre disponíveis entre as populações mais afetadas.

Sachê de reidratação oral distribuído pelo Unicef. Cada sachê contém sais de sódio e de potássio, além de glicose. O conteúdo deve ser dissolvido em água para ser digerido. No entanto, a falta de água potável para a mistura é, muitas vezes, um problema.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Em 1968, entretanto, pesquisadores de Bangladesh e da Índia já haviam observado que a simples adição de açúcar e sal à água, nas proporções corretas, permitia que ela fosse absorvida pelas paredes do intestino. Assim, o indivíduo com diarreia poderia se reidratar e repor os sais minerais perdidos por meio da ingestão dessa solução.

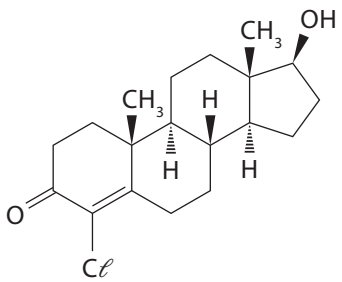
Uma das primeiras aplicações em larga escala dos ORS aconteceu em 1971, durante a guerra de independência de Bangladesh, quando surtos de cólera assolaram os campos de refugiados. Das 3.700 vítimas tratadas, mais de 96% sobreviveram.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

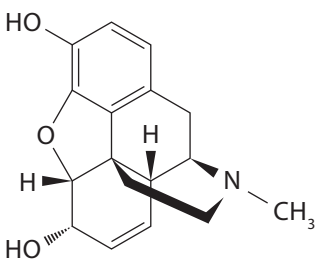
3. Considere a fórmula estrutural do clostebol, um esteroide anabolizante sintético utilizado de forma indevida para aumento de *performance* em atividades esportivas.



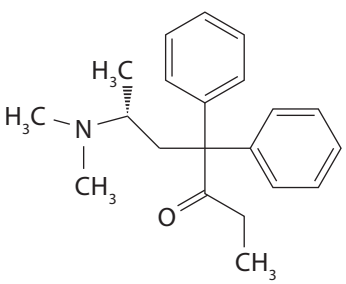
Clostebol

A substância mencionada apresenta uma fórmula estrutural muito semelhante à de um esteroide endógeno natural mencionado no capítulo. Determine a diferença estrutural entre as substâncias citadas, bem como a função orgânica que as difere.

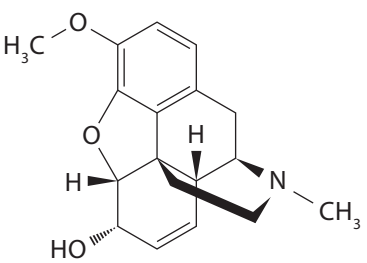
4. Morfina, metadona e codeína são opiáceos (substâncias extraídas do ópio) que apresentam propriedades analgésicas. As duas primeiras provocam graves efeitos colaterais no usuário. A codeína, por sua vez, apresenta analgesia mais amena, não oferecendo grandes riscos de dependência química aos pacientes.



Morfina



Metadona



Codeína

Julgue cada uma das afirmações a seguir como verdadeira ou falsa:

I. As três substâncias apresentam pelo menos um anel benzênico.

II. Somente a morfina e a codeína são aminas terciárias.

III. A diferença estrutural entre a morfina e a codeína é que nessa última há um grupo etil ligado ao átomo de oxigênio, o que pode estar relacionado à menor dependência química dessa substância.

5. Em 2012 a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) proibiu a venda de suplementos alimentares que contenham a substância DMAA (dimetilamilamina), pois suspeita-se que ela causa danos à saúde. Essa substância fazia parte da composição de alguns suplementos de pré-treino, fornecendo resistência para realizar atividade física. O nome da DMAA, de acordo com as regras de nomenclatura da IUPAC, é 4-metil-hexan-2-amina. Desenhe a fórmula estrutural da DMAA.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Registre em seu caderno

EM FOCO

Atleta é condenada por *doping*

ODS 16

[...]

Campeã olímpica nos Jogos de Londres 2012, Tandara foi condenada a quatro anos de suspensão, pena máxima, por *doping*. O julgamento foi realizado nesta segunda-feira, com duração de quase oito horas. Os três Auditores do Tribunal de Justiça Desportiva Antidopagem (TJD-AD) foram unânimes na decisão, que tira a jogadora das quadras até 2025. [...]

A oposta de 33 anos foi suspensa preventivamente no dia 5 de agosto de 2021, durante os Jogos de Tóquio, após resultado analítico adverso para a substância Ostarina, em exame surpresa realizado no dia 7 de julho daquele ano.

Tandara classificou a decisão como "injusta" e "desproporcional", e se disse determinada a provar sua inocência. A defesa ainda poderá recorrer à Corte Arbitral do Esporte (CAS), na Suíça. [...]

"Apesar de termos provas mais do que suficientes que mostram que fui contaminada, tive uma condenação injusta, desproporcional e precedida de um estranho vazamento de um processo que deveria ser sigiloso. Vamos recorrer ao Plenário para que a justiça seja, de fato, restabelecida. Respeito, mas não concordo com essa decisão de hoje. Lutarei, como sempre fiz, para provar minha inocência", escreveu Tandara, em seu Twitter.

A Ostarina é um SARM, ou seja, um modulador seletivo de receptor de androgênio. Esse tipo de substância tem comercialização proibida no Brasil e seus resultados são semelhantes aos proporcionados por esteroides anabolizantes. O ganho de explosão muscular sem ganho de peso é um deles.

Os SARMs se popularizaram no Brasil nos últimos anos. Com a contestável promessa de proporcionar efeitos anabólicos com menores danos à saúde, produtores de suplementos apostaram na ideia. Apesar da proibição, eles são facilmente encontrados no país pela internet.

A jogadora de vôlei, que é defendida pelo advogado Marcelo Franklin, tenta alegar contaminação cruzada de um suplemento alimentar, mas a tese não convenceu o TJD-AD. Se a pena for mantida, ela só poderia voltar às quadras aos 37 anos.

[...]

Fonte: MOURA, J. Tandara é condenada a quatro anos de suspensão por *doping*. **Portal Terra**, São Paulo, 23 maio 2022. Disponível em: https://www.terra.com.br/esportes/volei/tandara-e-condenada-a-quatro-anosde-suspensao-por-doping,32036ebf6a1ff7327a5d524ebad123b92pz334i6.html. Acesso em: 17 set. 2024.

1. Explique a expressão "contaminação cruzada" citada no texto considerando o contexto apresentado.
2. O julgamento de Tandara gerou controvérsias, com a jogadora classificando a decisão como "injusta" e "desproporcional". Discuta os aspectos éticos e legais envolvidos nesse caso, considerando a presunção de inocência, a confidencialidade do processo e a transparência nas decisões esportivas. Também procure outras matérias a respeito, a fim de consultar pontos de vista diversos sobre o ocorrido.
3. Qual é sua opinião a respeito do rigor na punição de atletas? Você defende esse tipo de punição a fim de garantir a equidade no esporte ou as instituições poderiam ser mais flexíveis, prevendo um possível *doping* involuntário?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADES DE FECHAMENTO

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. (Uerj) Na tentativa de conter o tráfico de drogas, a Polícia Federal passou a controlar a aquisição de solventes com elevado grau de pureza, como o éter (etoxietano) e a acetona (propanona). Hoje, mesmo as universidades só adquirem esses produtos com a devida autorização daquele órgão. A alternativa que apresenta, respectivamente, isômeros funcionais dessas substâncias é:

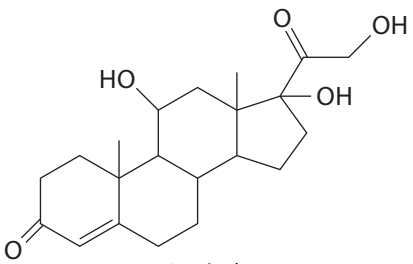
a. butanal e propanal. 1. Alternativa **b**.

b. butan-1-ol e propanal.

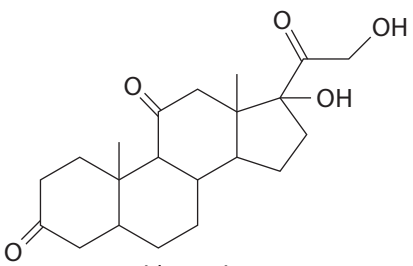
c. butanal e propan-1-ol.

d. butan-1-ol e propan-1-ol.

2. (Fatec-SP) O estresse está se tornando um problema cada vez maior no mundo do trabalho. Situações e estímulos do ambiente de trabalho que pressionam o trabalhador, em diferentes contextos, provocam a produção de diversos hormônios em seu organismo como, por exemplo, o cortisol. O cortisol é responsável pela regulação de diversos processos metabólicos humanos. Sua forma sintética, a hidrocortisona, é usada no combate a inflamações e alergias.



Cortisol



Hidrocortisona

https://www.unifac.edu.br/images/materiais_de_apoio/adm/psicologias_organizacoes/estresse_qualidade_vida.pdf. Acesso em: 15 out. 2024. Adaptado.

Em química, isomeria é um fenômeno que ocorre quando duas ou mais moléculas apresentam a mesma fórmula molecular. Observando as fórmulas estruturais do cortisol e da hidrocortisona, pode-se concluir corretamente que estes compostos 2. Alternativa **a**.

a. são isômeros de fórmula molecular $C_{21}H_{30}O_5$.

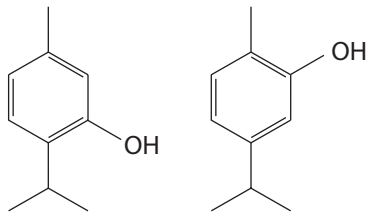
b. são isômeros de fórmula molecular $C_{21}H_{29}O_5$.

c. são isômeros de fórmula molecular $C_{21}H_6O_5$.

d. não são isômeros pois suas fórmulas moleculares são diferentes.

e. não são isômeros pois suas fórmulas estruturais são diferentes.

3. O óleo essencial de tomilho (*Thymus vulgaris*) é constituído de timol (40%) e outros compostos fenólicos, como o carvacrol e os taninos. Além de seu papel na culinária, esse óleo essencial tem demonstrado efeito antisséptico.



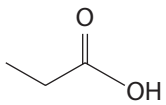
Timol Carvacrol

Com base nas fórmulas estruturais apresentadas, responda às questões a seguir.

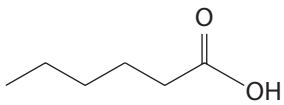
a. Timol e carvacrol são isômeros? O que os diferencia?

b. Que tipo de interação intermolecular se verifica entre as moléculas desses dois compostos?

4. Os ácidos carboxílicos formam uma classe de compostos orgânicos com muitas aplicações na indústria. O ácido propanoico, por exemplo, é usado como conservador na indústria alimentícia, e o ácido hexanoico, como matéria-prima de aromas, em perfumaria. Qual das substâncias descritas apresenta maior temperatura de ebulição? Justifique.

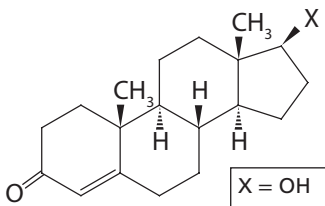


Ácido propanoico



Ácido hexanoico

5. (Enem) A lipofilia é um dos fatores fundamentais para o planejamento de um fármaco. Ela mede o grau de afinidade que a substância tem com ambientes apolares, podendo ser avaliada por seu coeficiente de partição. 5. Alternativa **d**.



X = OH	(Testosterona)
X = H	(Composto 1)
X = CH_3	(Composto 2)

Fonte: NOGUEIRA, L. J.; MONTANARI, C. A.; DONNICI, C. L. Histórico da evolução da química medicinal e a importância da lipofilia: de Hipócrates e Galeno a Paracelsus e as contribuições de Overton e de Hansch. **Revista Virtual de Química**, n. 3, 2009 (adaptado).

Em relação ao coeficiente de partição da testosterona, as lipofilias dos compostos 1 e 2 são, respectivamente,

a. menor e menor que a lipofilia da testosterona.

b. menor e maior que a lipofilia da testosterona.

c. maior e menor que a lipofilia da testosterona.

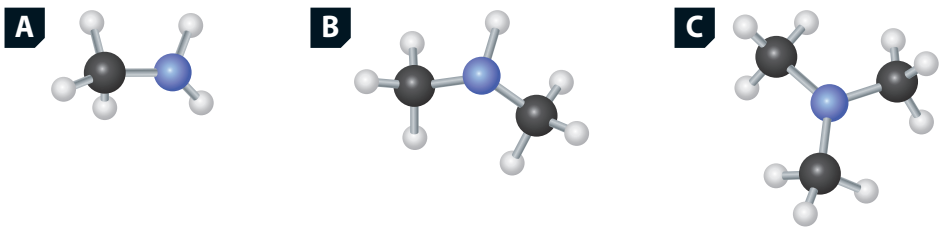
d. maior e maior que a lipofilia da testosterona.

e. menor e igual que a lipofilia da testosterona.

Continua

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

6. Nos livros e manuais de Química, a representação de compostos orgânicos por meio de modelos moleculares é bastante utilizada, pois, além da composição, permite descrever com maior precisão a forma das moléculas. Observe os modelos a seguir, em que os átomos são representados com cores e tamanhos distintos. Os menores, representados na cor branca, são átomos de hidrogênio. Os intermediários, indicados pela cor azul, são átomos de nitrogênio, e os de cor cinza são átomos de carbono. Os bastões que conectam os átomos representam a ligação química.



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

(Imagens sem escala, cores-fantasia.)

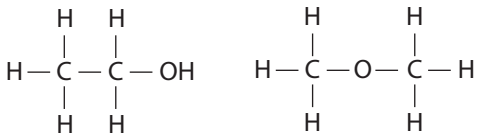
a. Indique as fórmulas moleculares para as substâncias representadas nos modelos.

b. Qual ou quais compostos representados têm isômeros? Indique a fórmula estrutural plana para o(s) isômero(s) que você identificou.

c. Que tipo de interação intermolecular se verifica entre as moléculas de cada uma das substâncias?

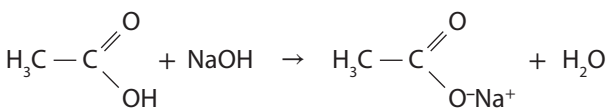
d. Entre as aminas representadas, qual delas apresenta menor solubilidade em água?

7. O etanol, ou álcool etílico, é produzido no Brasil principalmente a partir da fermentação do açúcar da cana e é comercializado como combustível para automóveis, em produtos de higiene e limpeza. Observe a estrutura do etanol e de seu isômero de função, o éter dimetílico.



A 1 atm, a temperatura de ebulição do etanol é de 78,3 °C e a do éter dimetílico, –24 °C. Qual é a razão da diferença observada entre as temperaturas de ebulição das substâncias?

8. Substâncias anfipáticas são encontradas em diferentes materiais que utilizamos no dia a dia, como nos géis absorventes das fraldas descartáveis, e podem ser obtidas por meio de reações de neutralização entre um ácido carboxílico e um hidróxido, reação que pode ser exemplificada pela reação entre o ácido etanoico e o hidróxido de sódio.

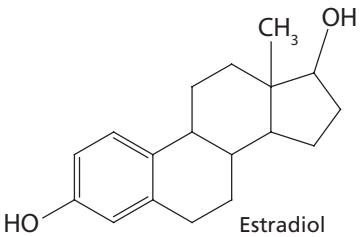


a. Descreva a reação observada quando o ácido hexanoico reage com o hidróxido de sódio.

b. Explique o caráter anfipático do produto formado.

c. Entre o ácido acético e o ácido hexanoico, qual deles é mais solúvel em água? Justifique.

9. Em seus estudos de Química Orgânica, um estudante observou a fórmula estrutural da molécula de estradiol, um dos hormônios sexuais humanos.



Com base nessa fórmula estrutural, o estudante concluiu que a molécula de estradiol corresponde a um poliálcool, pois apresenta dois grupos hidroxila ligados à cadeia carbônica. Ele estava correto em sua conclusão? Justifique.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Capítulo 16

Polímeros nos esportes

OBJETO DIGITAL Infográfico clicável: Esporte paralímpico: ciência, tecnologia e inclusão

EMPICS SPORT - PA IMAGES/GETTY IMAGES

Os polímeros estão presentes em diversos itens dos esportes, como em próteses de membros do corpo humano. Jogos Paralímpicos de Londres (Inglaterra, 2012).

Fique por dentro

A química do fazer, vestuários e embalagens, plásticos

A QUÍMICA do fazer, vestuários e embalagens, plásticos. 1 vídeo (10:42 min). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=PnZwZLqLTIg. Acesso em: 25 jul. 2024.

O vídeo apresenta um panorama sobre os plásticos, desde a obtenção da matéria-prima, passando pela produção e uso, até chegar à reciclagem desses materiais.

Alan Fonteles, nascido em 1992 no Pará, é um atleta paralímpico com deficiência nos membros inferiores que utiliza próteses em forma de lâmina. Especialista em provas de velocidade, ele se tornou recordista mundial em 2013, completando os 200 metros em 20,66 segundos, uma marca impressionante tanto no paradesporto quanto entre atletas convencionais. Sua evolução rápida se deve, em parte, aos avanços tecnológicos das próteses esportivas. A tecnologia atual permite que atletas biamputados cheguem a níveis competitivos com os olímpicos, levantando questões sobre as regras de competição para manter a ética no esporte. Alguns materiais dessas próteses são classificados como polímeros.

É comum as pessoas confundirem o conceito de polímero com o de plástico. Chamamos de plástico o tipo de polímero com que se deforma plasticamente por aquecimento ou quando submetido a estiramento – um exemplo é o polietileno utilizado no gramado sintético. Mas nem todo o polímero tem comportamento plástico. Os elastômeros, por exemplo, possuem comportamento elástico – como a borracha sintética utilizada nas chuteiras dos jogadores. Os polímeros fazem parte do nosso cotidiano em várias outras situações do nosso dia a dia. Compreender suas propriedades, aplicações e reutilizações será o objetivo deste capítulo.

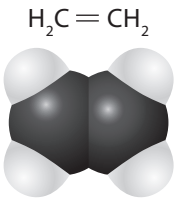
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Polímeros

OBJETO DIGITAL
Vídeo: Polímeros, plásticos e sustentabilidade

Conforme estudado no capítulo 8, as unidades moleculares que se repetem ao longo da estrutura de um polímero são derivadas dos reagentes que o formaram, os **monômeros**. Os polímeros podem ser formados por um ou mais tipos de monômero, sendo classificados como **homopolímeros** e **copolímeros**, respectivamente. No caso dos copolímeros, os dois monômeros não necessariamente estão presentes nas mesmas quantidades.

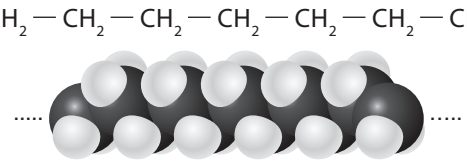
Um exemplo é o monômero eteno (etileno). Trata-se de uma molécula formada por dois átomos de carbono e quatro átomos de hidrogênio.



Monômero

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Os monômeros de eteno podem reagir entre si, em determinadas condições, por meio da conversão das ligações duplas em simples, formando uma longa cadeia polimérica, formada por centenas e/ou milhares de átomos de carbono e hidrogênio. Observe a representação a seguir, na qual tracejados indicam as extremidades em que a cadeia se estende.



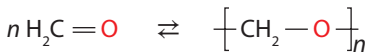
Polímero

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

De acordo com a IUPAC, os polímeros apresentam nomes usuais, nomes derivados dos monômeros e nomes baseados em sua estrutura. Ao longo da obra, utilizaremos o que for mais conveniente.

As reações químicas que promovem a formação dos polímeros são chamadas de **reações de polimerização** e podem ocorrer por diferentes mecanismos, como **adição** e **condensação**.

Monômeros que apresentam ligação dupla participam das polimerizações por adição. Nesse processo, as insaturações são rompidas e novas ligações covalentes são formadas entre as várias moléculas de monômero. O processo pode ser representado de forma simplificada como mostrado a seguir. De modo geral, *n* é um número maior do que 1.000.



Formaldeído — Poliformaldeído

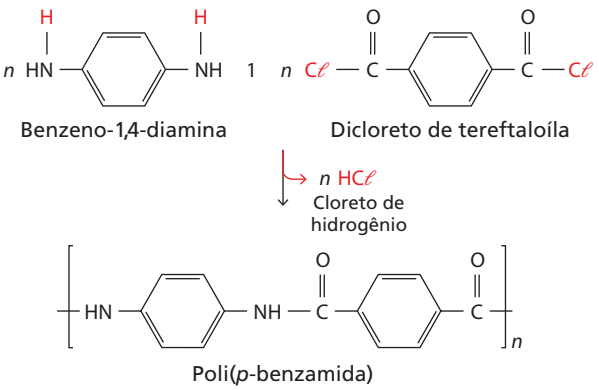
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

HAGLEY MUSEUM AND ARCHIVE/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

Stephanie Kwolek, por volta de 1960, trabalhando em um microscópio.

Já os monômeros que apresentam grupos funcionais como hidroxila (—OH), carboxila (—COOH) e amino (—NH_2) participam de polimerizações por condensação. Nesse caso, além da quebra e formação de ligações, ocorre também a formação de um subproduto, como a água.

O processo apresentado a seguir ilustra a condensação do cloreto de um ácido dicarboxílico e de uma diamina aromática para a produção de uma **aramida**. Trata-se de uma fibra sintetizada, em 1965, pela química industrial estadunidense Stephanie L. Kwolek (1923-2014) e empregada em capacetes, raquetes e coletes à prova de balas.



Benzeno-1,4-diamina — Dicloreto de tereftaloíla

Cloreto de hidrogênio

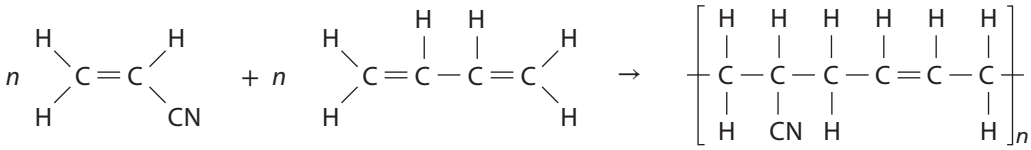
Poli(*p*-benzamida)

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

1. A buna-N é uma borracha muito resistente aos óleos minerais e, por isso, é muito empregada na fabricação de tubos para conduzir óleos lubrificantes em máquinas, automóveis etc. A equação química a seguir representa a reação de síntese desse polímero.



Prop-2-enonitrila — Buta-1,4-dieno — Buta-N

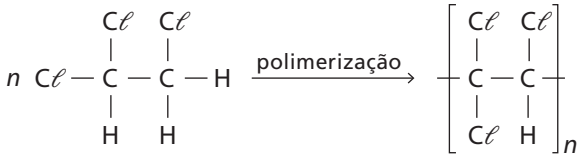
Observando a equação, responda: A buna-N trata-se de um copolímero ou homopolímero? Explique.

2. O policloreto de vinila, mais conhecido pela sigla PVC, é um polímero amplamente utilizado na produção de tubos e conexões, dentre outros produtos. O monômero desse polímero, cloreto de vinila (ou cloroeteno), é muito semelhante ao monômero do polipropileno: a diferença é uma ramificação de cloro (Cℓ), em vez de a ramificação ser um grupo metil. Com base nessas informações, a equação de polimerização do PVC pode ser corretamente representada por:

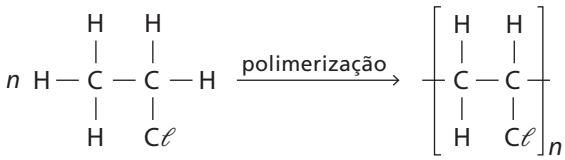
2. Alternativa **d**.

a.

b.



c.



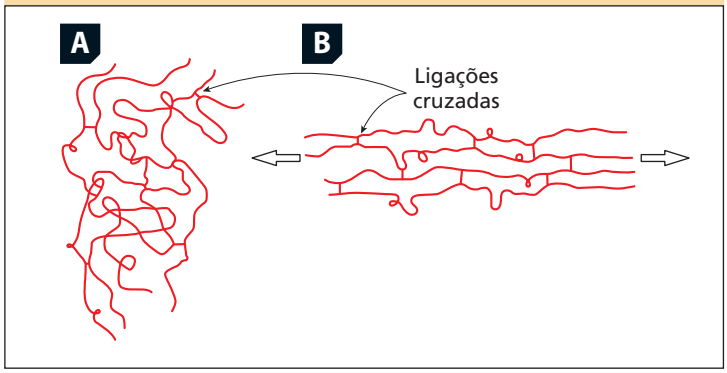
d.

Os polímeros também podem ser classificados de outras formas: como naturais ou sintéticos, de acordo com a origem; como lineares, ramificados ou reticulados, segundo a estrutura das cadeias; e como **plásticos** ou **elastômeros**, de acordo com o comportamento mecânico.

Os plásticos são formados por polímeros sólidos a 25 °C, mas que, em determinada etapa de seu processamento, tornam-se fluidos, permitindo a moldagem do material. Os materiais plásticos apresentam elevada resistência à tração; eles podem ser muito esticados antes de se romperem. Com esses materiais é possível fazer fibras, filmes, chapas e tubos (por um processo de moldagem conhecido como extrusão), além de recipientes (por moldagem por injeção).

Os elastômeros, também conhecidos como borrachas, são materiais bastantes flexíveis a 25 °C e apresentam elevada elasticidade, mas não podem ser moldados repetidas vezes. Esses materiais são **amorfos**, ou seja, suas cadeias estão dispostas de forma desorganizada e enovelada. A deformação elástica observada é resultado do alinhamento parcial reversível das cadeias, que exibem pontos de ligação entre si. O tempo despendido para o retorno à conformação original varia amplamente entre os elastômeros.

Modelo do elastômero



Ligações cruzadas entre as cadeias poliméricas dos elastômeros. A ligação entre as cadeias pode ser composta por unidades curtas ou longas oriundas dos monômeros ou não. **(A)** Elastômero em repouso. **(B)** Elastômero sob tração. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

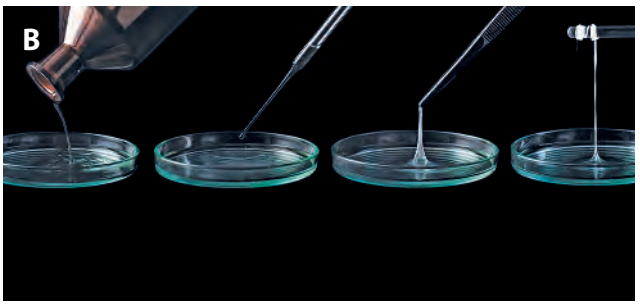
Essa variedade de propriedades permite que os polímeros sejam utilizados na confecção de diversos materiais, como roupas, calçados e equipamentos utilizados por atletas. Por exemplo, os poliésteres são empregados na confecção de roupas e calçados de secagem rápida ou impermeáveis, e os capacetes podem ser moldados em ABS (copolímero acrilonitrila-butadieno-estireno) e revestidos internamente com espumas dos homopolímeros poliestireno ou polipropileno.

A seguir, estudaremos mais detalhadamente outros exemplos de materiais poliméricos e suas aplicações nas práticas esportivas.

Náilon

O **náilon** é um polímero de grande importância histórica, pois foi a primeira fibra sintética a ser produzida, em 1935. A intenção de seu inventor, o químico industrial estadunidense Wallace Hume Carothers (1896-1937), era obter um substituto para a **seda**, uma proteína obtida do casulo do bicho-da-seda (*Bombyx mori*). Contudo, ele conseguiu muito mais do que isso: um polímero mais leve, mais barato e mais resistente.

PASCAL GOETGHELUCK/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

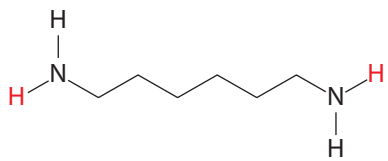


SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

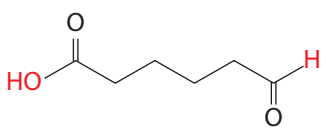
(A) Extração da seda (França, 1999). Os casulos do bicho-da-seda são colocados em água para a retirada dos fios, que são trançados para a confecção da fibra têxtil. **(B)** Polimerização do náilon.

A princípio, o náilon foi utilizado para produzir meias femininas que, rapidamente, se popularizaram. Contudo, com o advento da Segunda Guerra Mundial, a produção de náilon passou a ser quase exclusivamente para fins militares, como a fabricação de paraquedas e tendas.

O **náilon-6,6** é produto da reação de polimerização por condensação entre o hexano-1,6-diamina e o ácido hexanodioico.

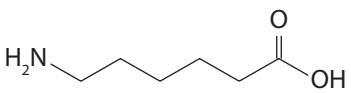


Hexano-1,6-diamina
(hexametilenodiamina)



Ácido hexanodioico
(ácido adípico)

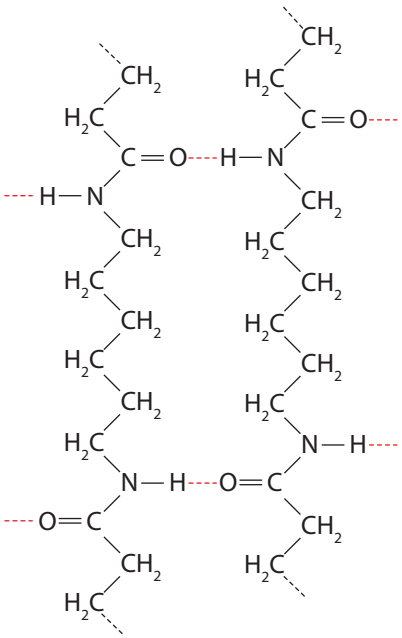
O polímero resultante é chamado de náilon-6,6 porque ambos os monômeros apresentam 6 átomos de carbono em suas cadeias. Diaminas e ácidos dicarboxílicos diferentes, além de **compostos bifuncionais** como o ácido 6-amino-hexanoico, podem ser empregados para produzir outros tipos de náilon, com propriedades distintas.



Ácido 6-amino-hexanoico

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Os diferentes tipos de náilon são empregados na confecção de roupas e calçados desportivos, bolsas e mochilas, cordas, velas das embarcações, e nas redes utilizadas nos esportes de campo e quadra. As interações intermoleculares que se estabelecem entre as cadeias poliméricas, sendo do tipo ligações de hidrogênio, têm influência na grande resistência à tração que o náilon apresenta, o que torna muito amplas as aplicações desse material.

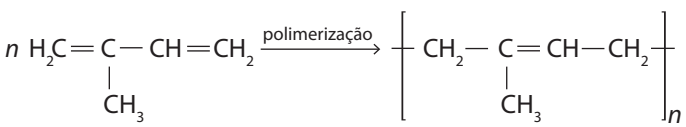


Peça aos estudantes que comparem a aramida e o náilon. Eles devem perceber que ambos são poliamidas e que as cadeias da aramida também interagem por ligações de hidrogênio.

As linhas vermelhas tracejadas representam as ligações de hidrogênio que unem as cadeias poliméricas do náilon. As linhas tracejadas em preto indicam as extremidades em que as cadeias se estendem.

Borracha natural

A borracha natural é um polímero resultante da polimerização por adição do 2-metilbuta-1,3-dieno, mais conhecido como **isopreno**. Ela é obtida por meio do látex extraído de espécies vegetais, como a seringueira (*Hevea brasiliensis*).



2-metilbuta-1,3-dieno (isopreno)

Borracha natural (poli-isopreno)

Diversos produtos são fabricados a partir do látex, tais como luvas, balões e preservativos. A alergia ao látex é uma resposta do corpo a determinadas proteínas presentes nesse material derivado da seiva da seringueira. Embora não seja uma reação comum na população, a incidência aumenta em grupos específicos, como profissionais da saúde, incluindo dentistas, enfermeiros e médicos, assim como em indivíduos que frequentemente passam por procedimentos cirúrgicos.

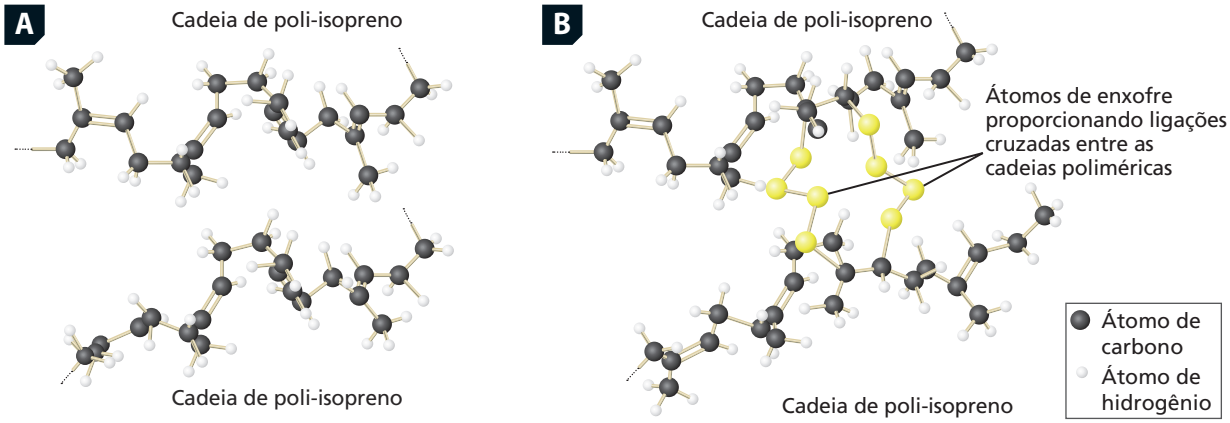
DR P. MARAZZI/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

Mão com manchas vermelhas decorrentes da alergia a algumas proteínas do látex.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Com o intuito de solucionar as variações das propriedades da borracha natural influenciadas pela temperatura, por volta de 1839, o inventor e empresário inglês Charles Goodyear (1800-1860) desenvolveu o processo conhecido hoje como **vulcanização**. Aquecendo-se a borracha natural na presença de enxofre (3% a 8% de sua massa) e um catalisador, formou-se um material que praticamente não tem a sua estrutura alterada por variações de temperatura. Isso acontece porque os átomos de enxofre formam ligações cruzadas entre as cadeias do polímero, tornando-o mais resistente à variação de temperatura e à ruptura ou a danos por tensão. O processo de vulcanização está ilustrado a seguir.

Modelo molecular da vulcanização da borracha



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em SANTOS, A. S.; SILVA. G. G. O tênis nosso de cada dia. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 31, n. 2, maio 2009.

(A) Modelos de esferas e bastões de duas cadeias poliméricas do isopreno antes da vulcanização. **(B)** A formação de ligações cruzadas entre as cadeias e os átomos de enxofre no processo de vulcanização confere mais resistência mecânica ao material. Os pontilhados indicam as extremidades em que as cadeias se estendem. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

A borracha vulcanizada passou a ser largamente utilizada na indústria de produção de pneus, além de peças automobilísticas, adesivos, solados e artigos médico-hospitalares e esportivos.

História da borracha natural

Algumas formas da borracha são conhecidas há muito tempo em toda a América Central e do Sul. Em geral, o primeiro uso da borracha é atribuído a tribos indígenas. Em sua segunda viagem ao continente americano, em 1493, Cristóvão Colombo observou nativos brincando com bolas que atingiam a alturas surpreendentes, bem melhores do que as bolas feitas de bexigas de animais que os europeus utilizavam em jogos. Essas bolas eram feitas com uma goma extraída de uma árvore local.

MUNIQUE BASSOLI/PULSAR IMAGENS

Extração do látex da seringueira, árvore que pode alcançar 30 m de altura (Olímpia, SP, 2020).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Colombo levou um pouco desse material para a Europa, assim como outros navegantes que aqui estiveram depois dele. Mas a borracha natural não tinha muitas utilidades, pois as amostras levadas se tornavam pegajosas e malcheirosas no verão europeu e, nos invernos rigorosos, duras e quebradiças. As bolas de borracha que Colombo encontrou nas Américas eram feitas com o látex do caucho (*Castilla ulei*), que produz uma borracha de qualidade inferior à da seringueira (*Hevea brasiliensis*).

Alguns povos indígenas do Brasil utilizam até hoje bolas feitas de um tipo de látex para a prática do *xikunahaty*, esporte semelhante em alguns aspectos ao futebol, em que os jogadores utilizam unicamente a cabeça para impulsionar a bola. Esse esporte, traço representativo da cultura indígena local, foi criado nas aldeias da etnia indígena Pareci, localizadas na região noroeste do Mato Grosso.

Em 1894, Charles Miller (1874-1953) trouxe da Inglaterra para o Brasil a primeira bola de futebol, feita externamente de couro e com câmara interna de bexiga de boi. Somente na Copa do Mundo de Futebol de 1986 que se utilizaram bolas feitas inteiramente com material sintético. Em 1994, começou-se a empregar poliuretano, um material durável e leve, associado ao poliestireno, juntamente com as câmaras de látex, o que permitiu que as bolas desenvolvessem altas velocidades.

EDUARDO KNAPP/FOLHAPRESS

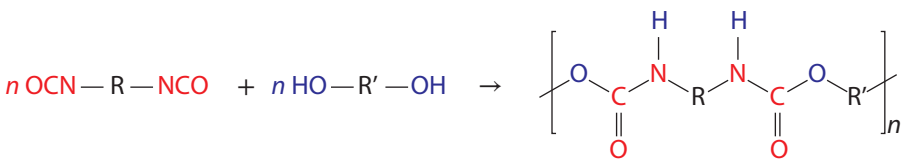
Indígenas da etnia Paresí (MT) jogam *xikunahaty* durante os Jogos Mundiais dos Povos Indígenas. Nesse jogo, os jogadores usam somente a cabeça para impulsionar a bola feita de látex (Palmas, TO, 2015).

Borrachas sintéticas

Professor, chame a atenção dos estudantes para o rearranjo da cadeia na formação do polímero.

Diversos polímeros sintéticos também são elastômeros, e, por esse motivo, podem ser empregados como substitutos da borracha natural em diferentes materiais.

Os **poliuretanos** (PU) são copolímeros criados na primeira metade do século XX com a finalidade de substituir a borracha natural. Esses materiais são formados pela reação de adição entre diisocianatos, compostos orgânicos que apresentam dois grupos isocianatos, NCO, e dióis, moléculas com dois grupos hidroxila, OH.



Diisocianato Diol Poliuretano

Note, na equação química apresentada, que as cadeias carbônicas nas estruturas dos monômeros foram representadas por **R** e **R'**. Isso indica várias possibilidades na composição desse polímero. De fato, as propriedades dos poliuretanos dependem da escolha dos monômeros que participarão da reação. Assim, esses polímeros podem ser encontrados na forma de espuma, em colchões, travesseiros e isolantes acústicos; em pneus e calçados, como substituinte da borracha natural; como filmes na fabricação de preservativos destinados às pessoas alérgicas ao látex; na forma de fibras em uniformes esportivos utilizados em patinação; na confecção de bolas sem costura e de pranchas de surfe.

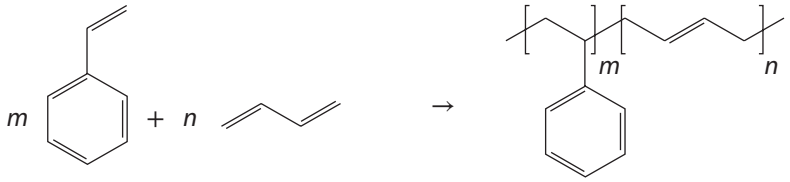
O poliuretano é usado em muitos calçados esportivos, incluindo tênis e chuteiras, devido à sua durabilidade, flexibilidade e capacidade de amortecer o impacto.

ALEX GOTTSCHALK/DEFODI IMAGES/GETTY IMAGES

Marta Vieira da Silva (1986-), eleita melhor jogadora de futebol do mundo por seis vezes, utilizando chuteira que contém, entre outros materiais, o poliuretano (Paris, 2024).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

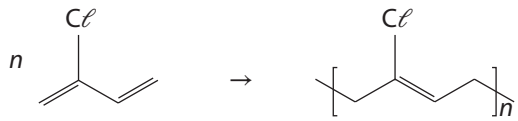
A borracha conhecida pela sigla **SBR** (do inglês: ***s**tyrene-**b**utadiene **r**ubber*) é outro copolímero criado para substituir a borracha natural. A preparação da SBR envolve a reação entre o estireno (vinilbenzeno) e o buta-1,3-dieno. Ao variar a proporção entre as quantidades de monômeros, é possível conferir propriedades diferentes ao produto.



Estireno (vinilbenzeno) — Buta-1,3-dieno — SBR

A SBR é aplicada principalmente na confecção de pneus, entretanto, esse material pode ser encontrado em calçados, mangueiras e revestimentos de pisos destinados à prática de esportes em que o amortecimento de choques é necessário.

Na mesma época da criação da SBR, em 1930, outro elastômero sintético foi desenvolvido com a mesma finalidade. O policloropreno, também conhecido como **neoprene**, é um homopolímero formado pela molécula de 2-clorobuta-1,3-dieno, usualmente chamada de **cloropreno**.



2-clorobuta-1,3-dieno (cloropreno) — Poli(2-clorobuta-1,3-dieno) (policloropreno)

O policloropreno apresenta elevada resistência mecânica, sendo mais flexível que a borracha natural, além de ser um potente isolante elétrico e térmico, sendo utilizado na confecção de roupas e trajes de mergulho.

Registre em seu caderno

EM FOCO Supertrajes na natação

Dez anos após *boom*, mulheres já bateram 80% dos recordes da era dos supertrajes

Enquanto isso, homens superaram apenas 40% das marcas registradas em 2008 e 2009, quando os maiôs que ajudavam na flutuação foram liberados

Há dez anos, uma revolução acertou em cheio a natação mundial. Não em estilo, técnica ou comportamento. Mas em vestimenta. Trajes feitos principalmente à base de poliuretano, que ajudavam de maneira impensável na flutuação e na compressão do corpo, foram liberados pela Fina (Federação Internacional de Natação) e seu efeito devastador foi visto com mais clareza nos Jogos Olímpicos de Pequim, que na última quarta-feira comemoraram uma década de seu início.

Naquela Olimpíada, sobretudo por causa do maiô tecnológico, que cobria quase todo o corpo de homens e mulheres, foram quebrados 25 recordes mundiais e 65 recordes olímpicos – entre eles o de Cesar Cielo na final dos 50 m livre (21s30), que permanece até hoje. [...]

Pequim foi o momento em que os trajes se tornaram assunto no esporte mundial, tanto por sua eficácia quanto pela polêmica que traziam. Enquanto as novas marcas chamaram a atenção e garantiram índices de audiência incríveis para as provas nas piscinas, muitos críticos defenderam que aquilo desvirtuava a modalidade.

– A flutuação do atleta, com aquilo, melhorava muito. O traje comprimia, bem apertado, aqueles que estavam um pouquinho fora de forma, mais gordinhos. Ele fazia com que o corpo ficasse em uma posição hidrodinâmica muito favorável – disse o técnico Fernando Vanzella, que em 2008 foi à Olimpíada como treinador de Thiago Pereira.

Após a primeira onda de recordes em 2008, uma outra leva de fornecedores entrou na jogada no ano seguinte e inundou o mercado de maiôs ainda mais rápidos. Prova disso é que nunca se

Continua

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

viu tantos recordes mundiais como no Campeonato Mundial de Roma de 2009, quando foram registradas 43 novas marcas, entre as quais a dos 100 m livre feita por Cesar Cielo (46s91), também ainda em vigor.

– Você economizava energia para sustentar o corpo na superfície. O traje ajudava muito nisso. E aí sobrava energia para aplicar força em deslocamento – disse o nadador Guilherme Guido, recordista sul-americano dos 100 m costas.

Para aplacar tanta polêmica, Fina decidiu banir, a partir de 2010, a roupa da discórdia. Após mais de 140 novos recordes mundiais em dois anos, a natação "voltou no tempo". Aos homens, só seria permitido nadar com bermuda. Às mulheres, ficou liberado um maiô que cobre parte das pernas e do abdômen, o que é fundamental para entender por que elas têm sido mais eficientes do que eles para quebrar as marcas de 2008 e 2009.

A natação feminina já bateu 80% dos recordes estabelecidos com os trajes de poliuretano em provas que estão no programa de Campeonatos Mundiais e Jogos Olímpicos. As mulheres já bateram todas as marcas feitas em 2008. Os homens, menos de 40%.

Única nadadora brasileira, homem ou mulher, a bater um recorde mundial individual de 2010 para cá, Etiene Medeiros endossa a tese de o traje feminino tornar mais possível a quebra de marcas. Porém, também vê uma evolução do naipe feminino.

– Acho que tem aí o fato de as mulheres terem um pouco mais de pano. Ele segura muito o quadril. Enquanto isso, o masculino fica mais na bermudinha. Então, pode ser um fator, sim. Mas eu acho que as meninas apareceram mais. A transformação do nível feminino mundial está crescendo mais ainda – disse Etiene [...].

ALBERTO PIZZOLI/AFP/GETTY IMAGES

Cesar Cielo competindo com o traje tecnológico. O nadador brasileiro conquistou o ouro nos 100 m livres do Campeonato Mundial de Natação de Roma, em 2009.

[...]

– Os trajes ajudavam muito na flutuação. Então, o que a gente tem que fazer é trabalhar muscularmente para ajudar a flutuação. E foi aí que entramos com trabalho de *core* muito interessante – comentou Guido sobre atividades feitas para fortalecer o abdômen.

A reportagem levou Guido ao Centro Paralímpico de Treinamento, em São Paulo, para um teste. O nadador deu dois tiros, com todo gás, de 50 m costas. Um com os trajes de poliuretano, que ele ainda tinha guardado, e outro com o traje atual. A diferença foi nítida.

Com o maiô tecnológico, ele fez um tempo de 25s14, que lhe causou surpresa de tão bom. Quando nadou com a bermudinha atual, cravou 26s05, marca bem inferior.

Ou seja, traje faz mesmo muita diferença. A natação parece ter acertado ao limitar a tecnologia. Porque, quando a roupa saiu de cena, os atletas voltaram a brilhar.

[...]

Fonte: ROSEGUINI, G.; CONDE, P. R. Dez anos após *boom*, mulheres já bateram 80% dos recordes da era dos supertrajes. Portal **Globo Esporte (GE)**, São Paulo, 15 ago. 2018. Disponível em: https://ge.globo.com/natacao/noticia/dez-anos-apos-boom-mulheres-ja-bateram-80-dos-recordes-da-era-dos-super-trajes.ghtml. Acesso em: 23 jul. 2024.

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

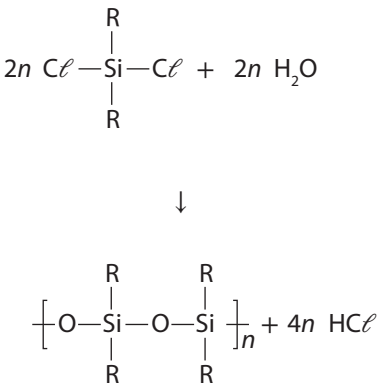
1. No teste citado na reportagem, houve a diferença de tempo com e sem o traje de poliuretano. Pesquise sobre os dois últimos recordes mundiais de natação 50 metros na modalidade costas masculino, comparando os tempos do primeiro e segundo colocados e determine se essa diferença é significativa. Justifique.
2. No final do ano de 2021, o COI (Comitê Olímpico Internacional) publicou um documento falando sobre os dez princípios dessa entidade. Pesquise sobre o documento e determine qual desses princípios se relaciona com tema discutido no texto.
3. Qual sua opinião a respeito dos tais supertrajes na natação? Justifique sua posição explicando seus argumentos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Silicones

Os **silicones** formam uma classe de elastômeros sintéticos compostos de unidades repetitivas formadas por átomos de silício e de oxigênio intercalados (— Si — O — Si —). Isso ocorre porque os átomos de silício, como os átomos de carbono, também realizam quatro ligações equivalentes, podendo formar cadeias.

A síntese dos silicones é realizada, geralmente, por meio da reação entre a água e derivados clorados de compostos contendo silício.



A diversidade de grupos substituintes, representados pela letra R na equação química anterior, e o tamanho da molécula do polímero garantem que exista uma grande variedade de silicones. Isso porque o grupo substituinte e a dimensão da cadeia determinam a intensidade das interações intermoleculares e, consequentemente, as propriedades físico-químicas desses polímeros. Assim, silicones com moléculas relativamente pequenas têm menor temperatura de fusão e apresentam aspecto oleoso, podendo ser utilizados na impermeabilização e lubrificação de superfícies. À medida que as cadeias se tornam maiores, as interações entre as moléculas se intensificam, e o silicone passa a adquirir consistência de borracha, sendo usado na vedação de janelas, piscinas e boxes de banheiro, pois apresenta altas resistências térmica e mecânica.

BUDA MENDES/GETTY IMAGES

Stephanie Balduccini (2004-) usando roupas de neoprene e óculos com alça de silicone. A nadadora brasileira levou medalha de prata nos Jogos Pan-Americanos de 2023 e tem se destacado em outras competições. (Rio de Janeiro, RJ, 2020).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

3. Pesquise em fontes confiáveis e desenhe a fórmula estrutural do monômero do polímero que constitui cada objeto a seguir.

Polímeros no cotidiano

Objeto	Monômero
Sacola plástica. **a.** LIUDMILA CHERNETSKA/ISTOCK/GETTY IMAGES	
Copo descartável. **b.** WWING/E+/GETTY IMAGES	
Para-choque de automóvel. **c.** WEBINORE/SHUTTERSTOCK	

MODELO MODELO

4. Utilizando as informações fornecidas sobre o processo de vulcanização da borracha, o que deverá acontecer com a elasticidade desse material quando a vulcanização for feita com uma mistura contendo altas proporções de enxofre, como cerca de 10%? Para qual finalidade a borracha obtida deverá ser mais adequada: elásticos para dinheiro ou pneus de automóveis?

5. O neoprene, material que apresenta alta elasticidade, é um polímero semelhante à borracha natural, utilizado, por exemplo, em roupas para mergulho, natação, correias de ventilador de automóvel e mangueiras condutoras de gasolina. Sua estrutura polimérica é muito semelhante à da borracha natural, mas com um átomo de cloro no lugar do grupo metil. Equacione a reação de polimerização que forma o neoprene.

Compósitos

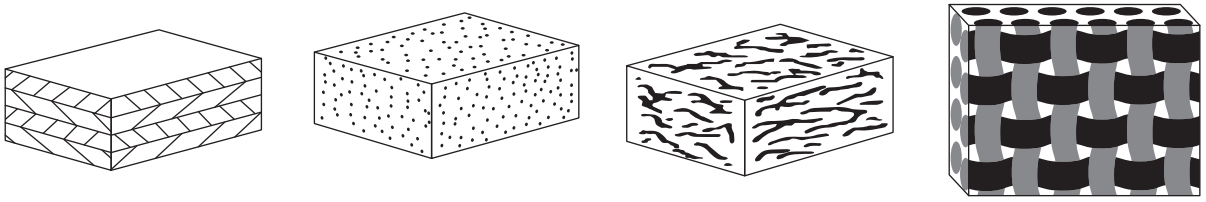
Como já abordado nesse capítulo, os polímeros têm diversas propriedades e aplicações, mas mesmo assim apresentam limitações de uso. Por isso, os cientistas de materiais desenvolvem os **compósitos**, combinações de, pelo menos, dois materiais com propriedades distintas e complementares, obtendo, assim, desempenho superior ao que seria possível com os componentes separadamente. No entanto, os compósitos não são unicamente sintéticos. Alguns compósitos encontrados naturalmente são a **madeira**, em que a flexibilidade das fibras de celulose é combinada com a rigidez da lignina, e o **osso**, em que a flexibilidade do colágeno é combinada com a dureza do mineral apatita.

Nos compósitos, um dos componentes é denominado **fase contínua** ou matriz e os demais são classificados como **fases dispersas** ou fases de reforço. A combinação dos componentes forma uma **mistura heterogênea**. A fase contínua fornece o arcabouço do compósito, ou seja, sua estrutura, além de funcionar como suporte no qual as fases dispersas se distribuem.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

As fases dispersas complementam as propriedades da matriz, melhorando as características mecânicas, químicas ou térmicas no material final, em função de suas quantidades relativas, tamanhos, padrão de distribuição e orientação. Dessa forma, os compósitos podem ser de vários tipos: **laminar**, quando as fases contínua e dispersas formam camadas intercaladas; **particulado**, quando as partículas das fases dispersas estão randomicamente misturadas à matriz; **fibroso**, quando as fases dispersas se encontram na forma de fibras; ou **entrelaçado**, quando as fases dispersas formam com a matriz uma malha.

Alguns tipos de compósitos



Compósito laminar | Compósito particulado | Compósito fibroso | Compósito entrelaçado

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em PARK, S.; SEO, M. Types of composites. **Interface Science and Technology**, v. 18, p. 501-629, 2011.

Representação dos tipos mais comuns de combinação nos compósitos. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

O material popularmente chamado de **fibra de carbono** é um compósito classificado como plástico reforçado com fibra de carbono. Ele é obtido de fibras de poliacrilonitrila (PAN), como fase de reforço, revestidas por outros polímeros (matriz), como o náilon ou o poliéster, de acordo com a finalidade do compósito. Muitas das próteses utilizadas atualmente por atletas paralímpicos têm em sua composição fibras de carbono. Esse compósito também é usado na engenharia aeroespacial. Outros tipos de fibras podem ser empregados no reforço dos plásticos, como as fibras de vidro ou de aramida, especialmente nas indústrias aeroespacial, marítima e automobilística.

Registre em seu caderno

TRABALHO E JUVENTUDES

Jovem aprendiz: experiências de vida e desenvolvimento profissional

Em algum momento da vida como estudantes, é comum que vocês se questionem sobre a importância de aprender os assuntos que são tratados em sala de aula, nos trabalhos em grupo e nas ferramentas de estudo. É comum também que questionem a importância da própria escola, percebendo-a como o espaço essencial para adquirirem conhecimentos.

Os conhecimentos adquiridos nessa fase serão requisitados no futuro, seja para vocês seguirem os estudos em uma universidade, para conseguirem um emprego ou trabalho que tornará possível atingir outros objetivos, ou ainda como protagonistas da mudança da realidade social de suas famílias, de sua comunidade, ou de seu próprio país e do mundo em que vivem. Aliás, transformar a sua própria realidade e ser protagonista nela requer o conhecimento de conceitos básicos, junto a capacidade de identificar problemas a sua volta e pensar em soluções.

Na área de Química, muitas indústrias possuem um departamento de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) que, dentre outras atividades, investiga novas tecnologias e avanços científicos para o projeto e a criação de produtos inovadores e úteis para um determinado público. Isso pode ser alcançado, inclusive, pela colaboração da indústria com centros de pesquisa e universidades. A P&D de novos produtos e materiais pode significar a diferença na vida de diversas pessoas, mudando a qualidade de vida delas e devolvendo sonhos e objetivos. É o caso do desenvolvimento de materiais que podem ser usados por atletas paralímpicos em competições.

Atuar diretamente em um laboratório de P&D na área de Química, seja na indústria ou em centros de pesquisa, requer conhecimento técnico especializado que não é adquirido na etapa da Educação Básica. Entretanto, isso não significa que vocês, os jovens estudantes dessa etapa, não possam vivenciar profissionalmente o dia a dia de uma indústria química. Mas, então, de que maneira isso é possível?

Continua

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Continuação

Na legislação brasileira existe o Decreto nº 11.479/23, que dispõe sobre o direito à profissionalização de adolescentes e jovens, por meio de programas de aprendizagem profissional. Segundo esse decreto, é considerada aprendiz a pessoa maior de quatorze anos e menor de vinte e quatro anos. Esse decreto também estabelece que a contratação de aprendizes deverá atender, com prioridade, aos jovens com idade entre quatorze e dezoito anos. Ele também estabelece que o jovem aprendiz dessa faixa etária não pode ser contratado para realizar, por exemplo, atividades que possam colocar em risco sua saúde física e mental, ou que os sujeitem à insalubridade ou à periculosidade (Artigo 53 do Decreto nº 11.479/23).

BERNARDO EMANUELLE/SHUTTERSTOCK

Para ser contratado como Jovem Aprendiz, é preciso ter a carteira de trabalho, que desde 2019 tem sido usada principalmente na versão digital. A carteira de trabalho é um documento obrigatório que comprova a relação de emprego entre o jovem e a empresa que o contratou.

Assim, dentro de uma indústria química, os jovens aprendizes poderão exercer serviços de apoio na área de recursos humanos, de administração geral e finanças, fornecer informações sobre produtos e serviços para clientes e fornecedores, ajudar a organizar arquivos e documentos digitais ou impressos, recepcionar visitantes da empresa e conduzi-los ao setor que procuram, entre outras atividades. Ser jovem aprendiz é um dos caminhos para desenvolver o autoconhecimento e habilidades de relacionamento, além de ser uma oportunidade para conhecer os demais profissionais que atuam na empresa e interagir com eles, o que pode ser um canal de motivação para se especializar e seguir uma determinada carreira.

O cadastro como jovem aprendiz e a busca por oportunidades podem ser feitas em *sites* de organizações que trabalham pela inserção de jovens no mercado do trabalho, como as instituições Espro, Centro de Integração Empresa Escola (CIEE), entre outras.

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

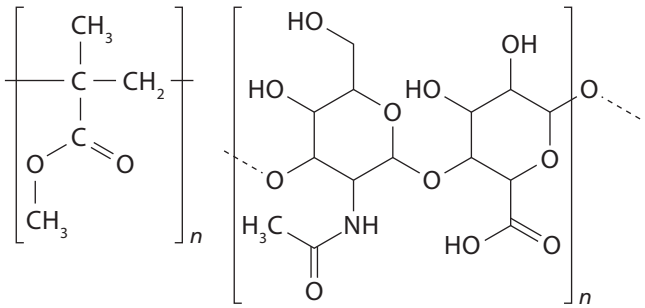
1. De acordo com o texto, é possível um estudante do Ensino Médio ser contratado como jovem aprendiz em uma indústria química? Em caso afirmativo, quais atividades essa pessoa jovem aprendiz poderia realizar?
2. O 2º parágrafo do Artigo 53 da redação oficial do Decreto nº 11.479/23 traz a seguinte informação: "A seleção de aprendizes deverá priorizar a inclusão de jovens e adolescentes em situação de vulnerabilidade ou risco social [...]". Pesquise o que seriam situações de vulnerabilidade ou risco social.
3. Suponha que você, ao buscar uma vaga de jovem aprendiz na internet, encontrou a seguinte descrição: "Vaga para jovem aprendiz em renomada indústria química, para estudantes de 14 a 18 anos. O contratado deverá auxiliar em tarefas de laboratório, como organização de vidrarias e reagentes, e durante a realização de reações químicas.". Avalie se essa vaga está de acordo com as funções que podem ser exercidas por uma pessoa jovem aprendiz.
4. Você já se interessou por alguma vaga de jovem aprendiz?
   - Se não, procure acessar a internet e buscar por vagas de jovem aprendiz em *sites* de instituições confiáveis, como as citadas no texto. Liste no caderno as vagas encontradas e que despertaram seu interesse. Avalie se a descrição da vaga de jovem aprendiz é pertinente com o que diz a legislação brasileira. Procure estabelecer como meta ou objetivo de curto prazo a candidatura a algumas das vagas.
   - Caso já atue como jovem aprendiz ou já tenha realizado a candidatura a alguma vaga, anote, em um caderno pessoal e de uso exclusivo seu, suas experiências adquiridas durante o processo de seleção e até mesmo da etapa de contrato.
   - Em ambos os casos, se desejar, anote seus aprendizados e vivências adquiridos, e estabeleça metas de longo prazo (por exemplo, a serem realizadas após o período como jovem aprendiz). Procure revisitar suas anotações periodicamente e refletir sobre seu progresso pessoal e profissional.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADES DE FECHAMENTO

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. (UEL) Atualmente a substância polimetilmetacrilato (PMMA), um polímero sintético, tem chamado a atenção devido a graves sequelas deixadas em pacientes, na maioria mulheres, após procedimentos estéticos. O PMMA não é absorvido pelo corpo e, quando utilizado inadequadamente, pode causar deformações, inflamações, necrose e até a morte. Em contrapartida, o ácido hialurônico (AH) é a substância biocompatível mais indicada para procedimentos de preenchimento de tecidos. Ainda assim, o PMMA continua a ser utilizado pelo seu baixo custo. 1. Alternativa **d**.



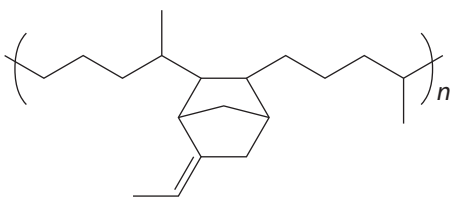
PMMA
$(C_5O_2H_8)_n$

AH
$(C_{14}H_{21}NO_{11})_n$

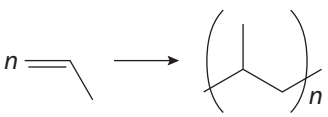
Com base nas estruturas moleculares das substâncias PMMA e AH, assinale a alternativa correta.

a. O PMMA apresenta maior caráter polar que o AH.
b. O AH possui, em sua cadeia polimérica, a função orgânica amina.
c. O PMMA e o AH são considerados substâncias simples.
d. No PMMA, a ligação química C – C entre carbono e grupamento éster é covalente.
e. O Nitrogênio é o elemento mais eletronegativo no monômero do AH.

2. (Fuvest) A bola de futebol que foi utilizada na Copa de 2018 foi chamada Telstar 18. Essa bola contém uma camada interna de borracha que pertence a uma classe de polímeros genericamente chamada de EPDM. A fórmula estrutural de um exemplo desses polímeros é

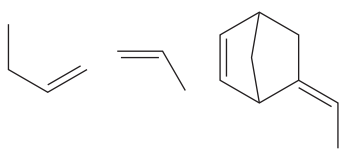


Polímeros podem ser produzidos pela polimerização de compostos insaturados (monômeros) como exemplificado para o polipropileno (um homopolímero):

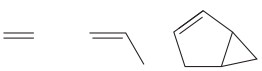


Os monômeros que podem ser utilizados para preparar o copolímero do tipo EPDM, cuja fórmula estrutural foi apresentada, são 2. Alternativa **d**.

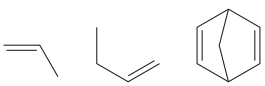
a.



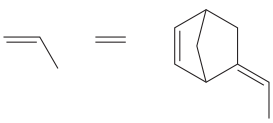
b.



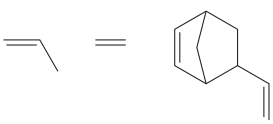
c.



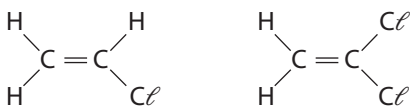
d.



e.



3. O saran é um copolímero de adição bastante resistente, formado pelos monômeros cloroeteno e 1,1-dicloroeteno. É usado na fabricação de embalagens tipo *blister*, utilizadas como cartelas de comprimidos. As fórmulas estruturais das moléculas que originam as unidades repetitivas que constituem o saran são:

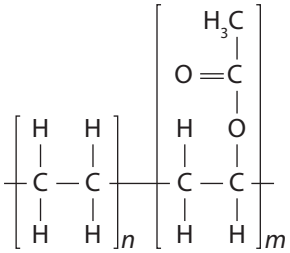


Cloroeteno — 1,1-dicloroeteno

Escreva a equação química da reação de polimerização para a obtenção do saran.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

4. O etenol é uma das matérias-primas utilizadas para produzir etileno acetato de vinila (em inglês *ethylene vinyl acetate*, EVA), um material empregado na confecção de solado de tênis.



a. Descreva quais tipos de interações intermoleculares agem entre as cadeias do polímero.

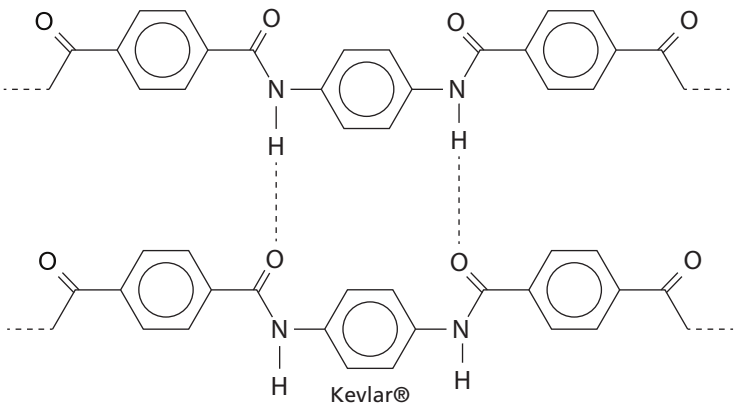
b. Qual é a fórmula estrutural plana do etenol?

5. O Dracon® é um polímero utilizado em fitas magnéticas que pode ser produzido pela reação entre um ácido dicarboxílico e um diol, com eliminação de água.

a. Escreva a equação que representa a reação de uma molécula do ácido 1,4-benzenodioico com uma molécula do 1,2-etanodiol. Utilize fórmulas estruturais.

b. A que função orgânica pertence o Dracon?

6. (Vunesp) Kevlar® é um polímero de condensação com alta resistência ao calor e à tração, sendo empregado na confecção de esquis, coletes à prova de bala, roupas e luvas utilizadas por bombeiros, entre outras aplicações. A intensa atração existente entre as cadeias confere ao polímero propriedades excepcionais de resistência, que têm permitido utilizar cordas de kevlar® em substituição aos cabos de aço.



Com base no exposto, qual a função orgânica nitrogenada que compõe a estrutura desse polímero? Dê a fórmula estrutural de seus monômeros e diga que tipo de interação existe entre as cadeias adjacentes.

Reflita sobre seu aprendizado!

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

Agora que o trabalho com esta unidade foi finalizado, é o momento de você refletir sobre seu aprendizado e identificar novos interesses para continuar aprendendo. Para isso, analise e responda às questões a seguir.

- Retome as questões da seção **Pense nisso!** na abertura desta unidade e avalie se concorda com suas respostas anteriores depois das discussões realizadas ao longo do estudo dos capítulos. Reescreva-as, se for necessário.
- O que você aprendeu acerca dos assuntos abordados nesta unidade?
- Quais assuntos/atividades geraram mais dificuldades para sua aprendizagem? Como você superou essas dificuldades?
- Reveja os pontos que deixaram dúvidas e que não foram bem compreendidos. Converse sobre eles com os colegas e com o professor a fim de planejarem outras possíveis estratégias de estudo.
- O que mais você gostaria de saber sobre os conteúdos abordados nesta unidade?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

EDUCAÇÃO MIDIÁTICA

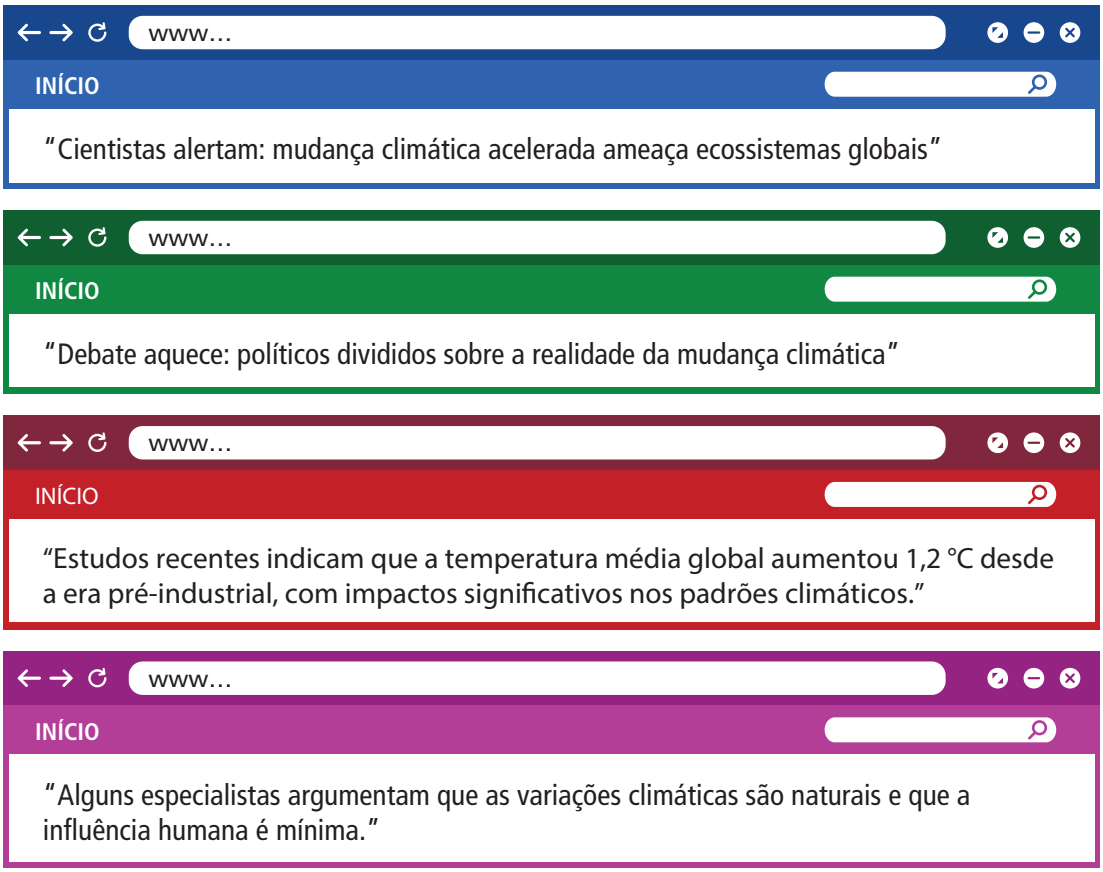
Confiabilidade das informações sobre mudanças climáticas

No dia a dia, somos bombardeados por uma enxurrada de notícias, artigos, *posts* e vídeos que tratam de eventos climáticos, muitos dos quais desastrosos. Esse tema tem sido bastante explorado pela imprensa, que apura fatos acerca de enchentes, chuvas mais intensas que o comum e mudanças dos padrões climáticos em diversas localidades.

Expostos a uma infinidade de conteúdos, é fundamental saber identificar uma **informação confiável**, que se baseia em fatos comprovados, dados concretos e argumentos sólidos. Mas como distinguir as informações confiáveis daquelas que são apenas atalhos para a confusão? Este é um dos objetivos da educação midiática: ensinar a analisar as informações de forma crítica e a identificar em quais delas podemos confiar.

Nesta atividade, vamos explorar a confiabilidade da informação sobre mudanças climáticas comparando algumas manchetes sobre o tema:

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA



Manchetes elaboradas para fins didáticos.

É possível encontrar na internet e em outros tipos de mídias uma diversidade de informações contraditórias a respeito de muitos temas. Da mesma forma que há notícias alarmantes sobre as consequências das mudanças climáticas, há outras que a negam, como a atribuição da ocorrência de enchentes a teorias conspiratórias e a alegação de que a ciência do clima é uma fraude. Para começarmos a pensar sobre isso, forme uma dupla com um colega, e reflitam sobre as perguntas a seguir. Lembrem-se de tomar nota das respostas.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. De que forma os conteúdos apresentados abordam as mudanças climáticas e com base em quais fontes de informação?
2. De que forma as manchetes apresentadas buscam atribuir credibilidade a seu conteúdo?
3. Quais fatores poderiam ocasionar visões tão distintas a respeito de um mesmo fenômeno?

Ampliação de repertório

Agora, vamos buscar na internet informações sobre mudanças climáticas. Use redes sociais e buscadores para identificar personalidades, meios de comunicação ou instituições responsáveis por divulgar informações a esse respeito. Após reunir de três a quatro fontes, forme dupla com um colega e, juntos, levando em consideração os quatro movimentos elencados a seguir, para verificar uma informação, analisem a confiabilidade do que vocês encontraram:

Pausem: antes de compartilhar aquela mensagem bombástica, façam uma pausa e reflitam: ela é confiável? Tem algo que os deixa desconfiados? O conteúdo parece equilibrado ou sensacionalista? Não tirem conclusões precipitadas, mas também não aceitem tudo como verdade absoluta.

Investiguem a fonte: desvendem a mensagem, procurando identificar quem a escreveu e se as fontes e os especialistas citados têm qualificação para abordar o tema.

Busquem mais: acessem outras fontes confiáveis sobre o tema. Comparem as informações e vejam se há consenso entre especialistas, intelectuais e a comunidade científica. Procurem conteúdos mais aprofundados e equilibrados.

Conheçam o contexto: entendam de onde a informação veio originalmente. Muitas vezes, notícias antigas são republicadas como se fossem novas, criando uma ilusão de atualidade. Verifiquem a data de publicação para se certificarem de que o conteúdo ainda é relevante.

Após esse passo a passo, discuta seus achados com outra dupla de colegas, buscando concluir se as informações acessadas são confiáveis ou se deixam dúvida quanto a sua confiabilidade.

Produção de conteúdo

Após explorar fontes de informações confiáveis sobre mudanças climáticas, agora é a sua vez de produzir um conteúdo sobre o tema. Com seu colega de dupla, criem um infográfico que explique, de forma concisa, criativa e objetiva:

- O que são mudanças climáticas?
- Quais são os principais e mais confiáveis argumentos que sustentam a tese das mudanças climáticas?
- Como esse fenômeno afeta a vida cotidiana?
- Quais são as consequências das mudanças climáticas previstas por especialistas para o futuro?

Caso as informações acessadas na atividade de investigação não tenham sido suficientes para responder a todos esses itens, façam novas buscas e verifiquem a confiabilidade das informações, repetindo os quatro movimentos anteriores para checar a informação.

Autoavaliação

No caderno você vai poder identificar seus pontos fortes e as oportunidades de melhoria em seu processo de aprendizagem. Anote o nível de desempenho para cada critério listado a seguir. Combine previamente com o professor o que é esperado para os níveis de desempenho: avançado, adequado, satisfatório e insuficiente. Seguem os critérios adotados para essa proposta:

- Identificar vieses e perspectivas ideológicas que atravessam informações sobre mudanças climáticas.
- Exercitar a verificação de informações a fim de avaliar sua confiabilidade.
- Produzir mídia com base em informações confiáveis e verificáveis sobre mudanças climáticas.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

UNIDADE 5

SAÚDE HUMANA

PROSTOCK-STUDIO/ ISTOCK/GETTY IMAGES

A substituição de uma alimentação saudável por cápsulas, suplementos e remédios para emagrecer é uma prática potencialmente perigosa à saúde.

O tema desta unidade também é trabalhado nos volumes de Biologia e de Física desta coleção.

A abertura proposta aborda a história do uso de anfetaminas para emagrecimento, seus riscos à saúde e a importância de compreender a química dos nutrientes e medicamentos para promover uma alimentação equilibrada e consciente. O trabalho em conjunto dos componentes curriculares da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias se dá pelo estudo integrado da ação dos medicamentos e dos nutrientes no organismo e pelo debate sobre saúde e alimentação equilibrada.

As anfetaminas tiveram uma longa história de uso para promover a redução de massa corporal. Sua introdução no mercado farmacêutico ocorreu na década de 1930, porém, o uso indiscriminado estava associado a uma série de efeitos colaterais graves, o que levou à sua regulamentação estrita. Hoje, as estratégias empregadas para o emagrecimento mudaram e o uso de anfetaminas e outras drogas para esse fim é altamente desencorajado pelos profissionais, uma vez que trazem inúmeros prejuízos à saúde.

O uso indiscriminado de suplementos alimentares em substituição a uma alimentação saudável é frequentemente divulgado como solução rápida, mas não é sustentável. Sem a orientação de um profissional, eles podem não cumprir a função de complementar a alimentação e podem causar danos à saúde.

Nesta unidade, vamos estudar a estrutura e as propriedades químicas dos medicamentos, sua síntese e ação no organismo, além dos efeitos adversos de substâncias ilícitas. Em seguida, será analisada a composição química dos macro e micronutrientes, suas propriedades físico-químicas e funções metabólicas; por fim, os equilíbrios químicos em soluções aquosas, relacionando-os aos tampões fisiológicos e ao equilíbrio de solubilidade em sistemas biológicos.

Pense nisso!

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

1. O que deve ser levado em consideração antes da liberação do uso de um novo medicamento?
2. A quantidade de etanol ingerida pode ser identificada por meio de um bafômetro (etilômetro). Qual é o princípio de funcionamento desse dispositivo?
3. Que tipo de nutrientes você considera importante para uma alimentação saudável?
4. Alguns indivíduos relatam sentir "queimação" no estômago após as refeições. Que substâncias são relacionadas à origem dessa "queimação"? Por que alguns médicos receitam remédios antiácidos para aliviar tal sintoma?

Capítulo 17

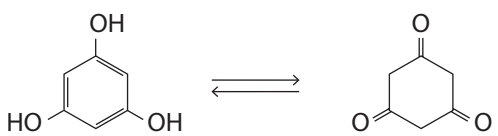
Estrutura espacial e atividade biológica – Estereoisomeria

JLCO - JULIA AMARAL/ISTOCK/GETTY IMAGES

Os rótulos e as bulas de medicamentos apresentam informações importantes, como substâncias presentes, contraindicações e forma de uso.

Muitas pesquisas são realizadas para desenvolver e aperfeiçoar os medicamentos. Eles podem ser usados para combater sintomas ou ainda agir diretamente no tratamento de doenças, contribuindo para o bem-estar e aumentando a média de expectativa de vida da população. Antes de serem comercializados, os medicamentos passam por testes que identificam sua eficácia e segurança. No Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) é o órgão responsável por regulamentar esses testes e definir os parâmetros e procedimentos que permitem garantir a segurança no uso dos medicamentos.

Os critérios de certificação variam entre os países. Um exemplo são os medicamentos que utilizam floroglucinol (benzeno-1,3,5-triol) como princípio ativo, cuja comercialização é permitida em países como México e Portugal e proibida no Brasil. Ele é indicado para dores gastrointestinais e no tratamento do cálculo renal. Quando as moléculas de floroglucinol estão em solução, ocorrem o rompimento e a formação de algumas ligações químicas, levando à formação de ciclo-hexano-1,3,5-triona. Simultaneamente, moléculas de ciclo-hexano-1,3,5-triona também são transformadas em floroglucinol. Esses dois compostos são **isômeros**, ou seja, apresentam a mesma fórmula molecular, $C_6H_6O_3$, mas são distintos quanto ao arranjo dos átomos.



Floroglucinol
$C_6H_6O_3$

Ciclo-hexano-1,3,5-triona
$C_6H_6O_3$

Caso considere pertinente, é possível discutir com os estudantes os diferentes tipos de isomeria constitucional, abordados no capítulo 15. O floroglucinol e o ciclo-hexano-1,3,5-triona são tautômeros, o que possibilita a abordagem do conceito.

Os compostos floroglucinol e ciclo-hexano-1,3,5-triona são chamados **isômeros constitucionais** por apresentarem diferentes arranjos entre os átomos. No decorrer deste capítulo, estudaremos outros dois tipos de isomeria: a diastereoisomeria e a enantiomeria.

Fique por dentro

O mesmo e o não mesmo

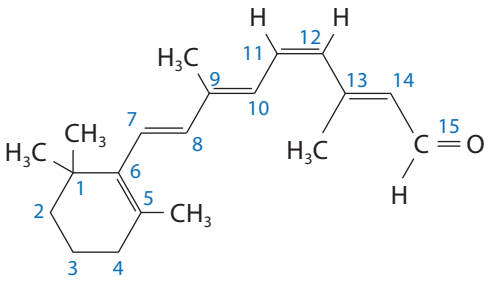
HOFFMANN, R. **O mesmo e o não mesmo**. São Paulo: Editora Unesp, 2007.

Nesse livro, o autor mostra as relações da Química com a sociedade por meio de exemplos e aplicações que incluem fármacos isômeros.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Isômeros *cis-trans*

A vitamina A engloba um conjunto de compostos com diferentes estruturas e funções, os retinoides; entre esses compostos, o retinal, que pode ser encontrado na retina, é muito importante no processo de visão. A deficiência dessa vitamina pode acarretar níveis de retinol abaixo do recomendado pela Organização Mundial da Saúde (OMS), podendo desencadear um ou mais dos seguintes sintomas: cegueira noturna, manchas na córnea, conhecidas como manchas de Bitot, ressecamento nos olhos, úlceras e cicatrizes na córnea.



11-*cis*-retinal

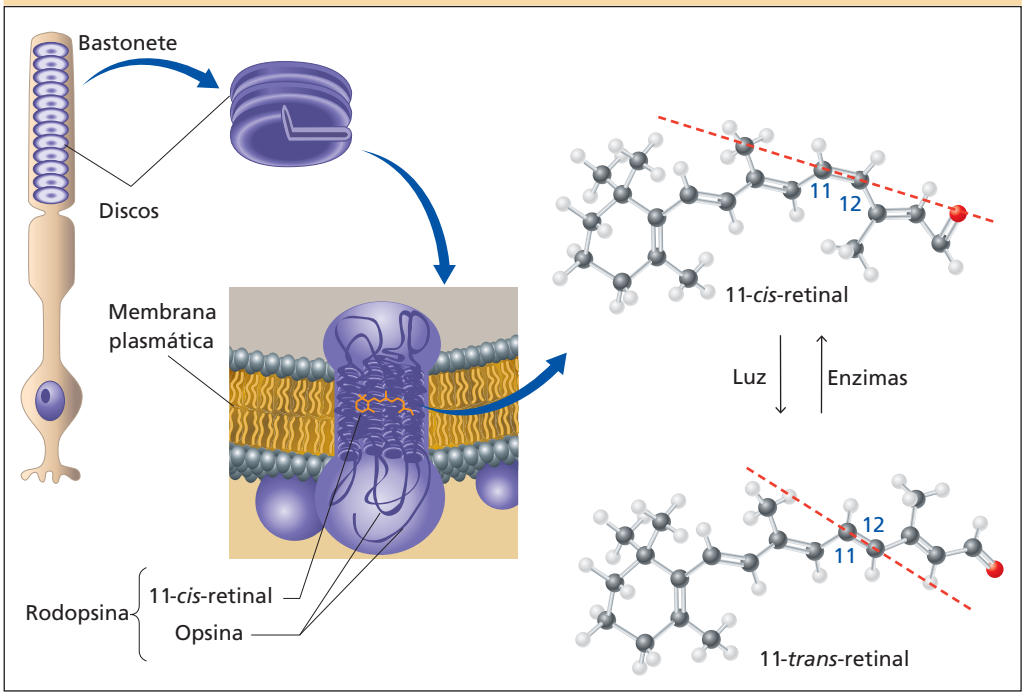
A fórmula estrutural do retinal evidencia a presença de ligações duplas conjugadas, ou seja, ligações duplas intercaladas com ligações simples. Esse padrão estrutural confere certas propriedades de absorção de luz ao composto.

Nos olhos dos seres humanos, há uma proteína chamada opsina, que interage com o retinal para formar um composto denominado rodopsina, localizado nas células fotorreceptoras da retina (cones e bastonetes). Quando a luz chega até os olhos, é absorvida pela rodopsina. Nesse processo, o retinal é transformado em seu isômero em um processo chamado **isomerização**.

A transformação do 11-*cis*-retinal em 11-*trans*-retinal leva à emissão de um impulso elétrico, que é captado pelo nervo óptico e enviado ao cérebro para que seja traduzido em imagens. Uma série de reações enzimáticas é necessária a fim de que o isômero retorne à forma original, voltando a se combinar com a opsina.

Note, na representação a seguir, que os isômeros do retinal diferem pela posição espacial dos ligantes átomos de carbono 11 e 12. Observe na representação da molécula de 11-*cis*-retinal que ao átomo de carbono 11 estão ligados um átomo de hidrogênio e parte da cadeia carbônica e, ao átomo de carbono 12, estão ligados um átomo de hidrogênio e a outra parte da cadeia carbônica da molécula. Em um dos isômeros, os átomos de hidrogênio ligados aos átomos de carbono 11 e 12 estão representados do mesmo lado do eixo imaginário que atravessa a ligação dupla entre esses átomos de carbono da molécula, caracterizando a configuração *cis*. Já no 11-*trans*-retinal, os átomos de hidrogênio ligados aos átomos de carbono 11 e 12 estão em lados opostos ao eixo imaginário da ligação dupla, caracterizando a configuração *trans*.

Isomerização do 11-*cis*-retinal em bastonetes



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: SADAVA, D. *et al.* **Vida**: a ciência da Biologia. Tradução: Carla Denise Bonan *et al.* 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. v. 3.

A absorção de luz fornece energia para que a molécula mude de configuração, alterando a posição dos átomos no espaço. As esferas cinza, brancas e vermelhas correspondem, respectivamente, aos átomos de carbono, hidrogênio e oxigênio. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Colocar uma régua na posição indicada pelas linhas tracejadas sobre o retinal pode auxiliar os estudantes a visualizar as posições *cis* e *trans* indicadas no texto.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A isomeria *cis-trans* ocorre quando, em uma cadeia carbônica, átomos de carbono adjacentes estão ligados por ligação dupla ou em um ciclo e apresentam, cada um deles, **dois substituintes diferentes**. Esse tipo de isomeria se dá pela diferença na posição espacial dos substituintes ligados a esses átomos de carbono. Compostos em que ocorre esse tipo de isomeria são chamados de **isômeros *cis-trans***.

Todas as moléculas apresentam arranjos espaciais específicos que determinam a disposição de cada átomo ou grupos de átomos em suas estruturas. Essa disposição espacial define a **configuração** das moléculas e só pode ser modificada por rompimento e formação de novas ligações químicas.

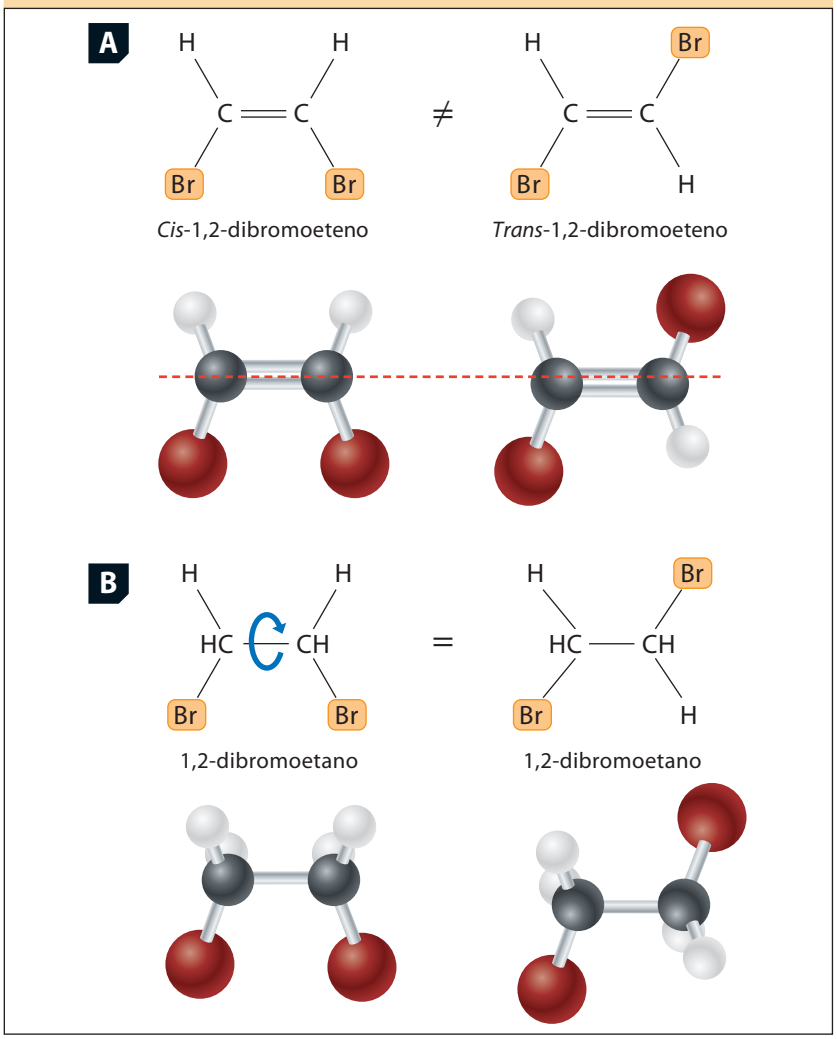
Alguns arranjos espaciais, entretanto, podem ser convertidos entre si por rotação de partes da molécula em relação ao eixo de uma ligação covalente simples. Nesses casos, temos diferentes **conformações** para o mesmo arranjo de átomos em uma estrutura, ou seja, para a mesma molécula.

A imagem a seguir apresenta duas representações do 1,2-dibromoetano e dos isômeros *cis*-1,2-dibromoeteno e *trans*-1,2-dibromoeteno. A ligação dupla impede a rotação dos átomos ao longo do eixo da ligação (A). A ligação simples entre os átomos de carbono do 1,2-dibromoetano permite a rotação livre com relação ao eixo dessa ligação (B). Assim, ambos os arranjos espaciais são convertidos entre si por rotação da ligação covalente simples e, por esse motivo, uma forma se converte em outra constantemente, caracterizando apenas uma substância.

Certifique-se de que os estudantes entendem a diferença entre conformação e configuração. A construção de modelos moleculares pode auxiliá-los. O conceito de conformação de cadeia é aprofundado no capítulo 18.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Disposição espacial dos substituintes em 1,2-dibromoeteno e 1,2-dibromoetano



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

(A) Representação das fórmulas estruturais dos isômeros *cis*-1,2-dibromoeteno e *trans*-1,2-dibromoeteno. **(B)** Representação de duas das conformações possíveis para a molécula de 1,2-dibromoetano. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

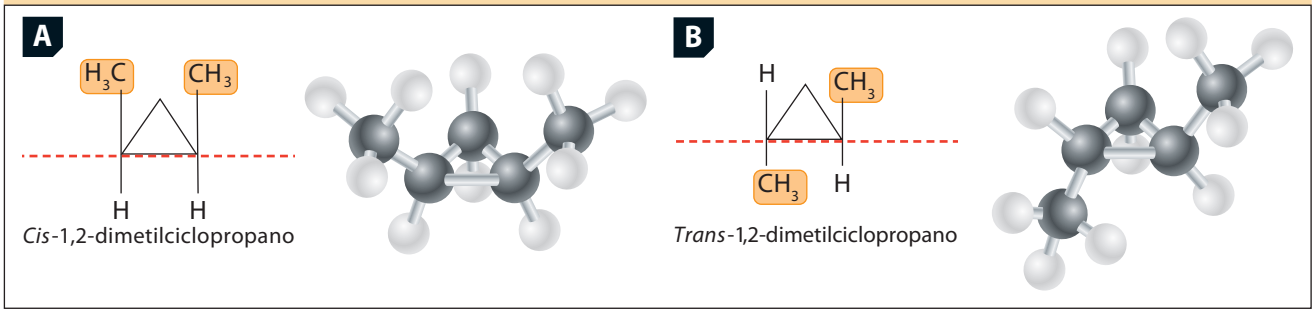
Quando ocorre isomeria *cis-trans* em compostos dissubstituídos, utilizam-se os prefixos *cis* e *trans* para diferenciar os isômeros. Para atribuir esses prefixos à nomenclatura dos compostos, é necessário analisar suas fórmulas estruturais, evidenciando a geometria dos grupos em relação ao plano imaginário da ligação dupla.

Na imagem anterior, em A, a linha vermelha tracejada representa um plano imaginário que contém o eixo da ligação dupla. Quando os substituintes iguais ligados aos átomos de carbono insaturados (átomos de carbono que apresentam ligação dupla ou tripla com outro átomo de carbono) estão posicionados de um mesmo lado do plano traçado, o isômero recebe o prefixo *cis*. No caso de esses substituintes estarem posicionados em lados opostos do plano, o isômero recebe o prefixo *trans*. Em moléculas com mais de uma ligação dupla, como a do retinal, um número localizador da ligação dupla em que ocorre a isomeria é adicionado ao nome do composto.

Isomeria *cis-trans* em compostos cíclicos

De maneira semelhante aos alcenos (compostos orgânicos com ligação dupla e cadeia aberta), nos compostos cíclicos, a rotação dos átomos ao longo da ligação entre átomos de carbono do ciclo só é possível com a quebra dessas ligações e formação de novas. Assim, existem compostos cíclicos com isomeria *cis-trans*. Observe as representações dos isômeros do 1,2-dimetilciclopropano:

Diasteroisomeria em 1,2-dimetilciclopropano



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

(A) Fórmula estrutural e representação espacial do *cis*-1,2-dimetilciclopropano. **(B)** Fórmula estrutural e representação espacial do *trans*-1,2-dimetilciclopropano. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Nos compostos orgânicos cíclicos, a cadeia fechada representa o plano imaginário da molécula. Os prefixos *cis* e *trans* indicam a posição dos substituintes em relação a esse plano.

Se julgar conveniente, mostre o caso dos isômeros *cis-trans* do 1,4-dimetilciclo-hexano.

No caso dos compostos cíclicos, a condição para que existam isômeros *cis-trans* é que pelo menos dois dos átomos de carbono do ciclo, não necessariamente adjacentes, apresentem substituintes diferentes ligados ao mesmo átomo de carbono.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

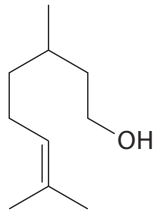
Registre em seu caderno

1. Considere os compostos a seguir:

I. 2-clorobut-2-eno;
II. hexa-2,4-dieno;
III. 1,1-dibromobut-1-eno;
IV. iodociclopentano;
V. 1,2-dietilciclobutano.

Qual(is) dele(s) apresenta(m) a possibilidade de isomeria *cis-trans*? Explique.

2. Observe a estrutura do citronelol, molécula de aroma cítrico, usada em perfumes e repelentes de insetos.



Citronelol ($C_{10}H_{20}O$)

Está correto afirmar que existe o *cis*-citronelal e o *trans*-citronelal? Explique.

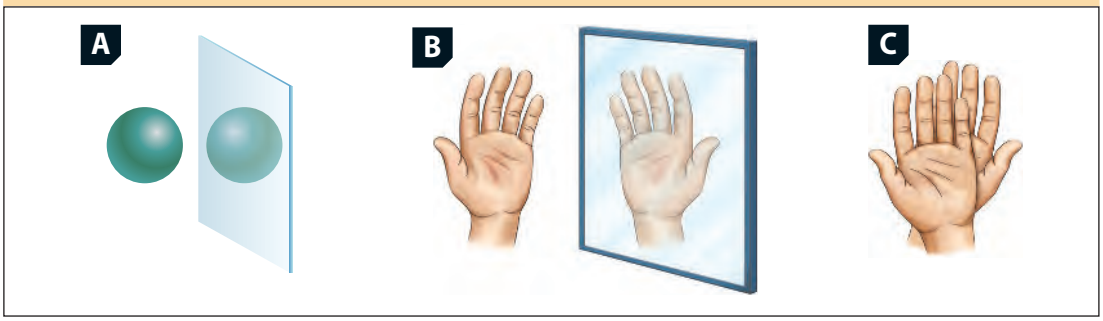
3. A muscalura é um alceno que atua como feromônio responsável pela atração sexual entre moscas. Ele é muito utilizado na formulação de inseticidas, de modo a atraí-las para que, em seguida, sejam mortas. Cada molécula do composto apresenta 23 átomos de carbono, com uma dupla ligação entre os carbonos 9 e 10. Sabendo-se que somente o isômero *cis* tem a ação desejada, desenhe a fórmula estrutural da muscalura.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Enantiômeros

Um espelho plano diante de uma esfera forma a imagem espelhada (também chamada imagem especular) dessa esfera, que é idêntica à do objeto real, com representado a seguir. Por outro lado, as mãos são as imagens especulares uma da outra, ou seja, ao colocar a mão esquerda na frente de um espelho plano, a imagem formada é a da mão direita, e vice-versa. E, diferentemente da esfera, não é possível sobrepor a imagem e o objeto, já que suas partes não coincidem, ou seja, eles não são iguais.

Imagens especulares e sobreposição da mão humana

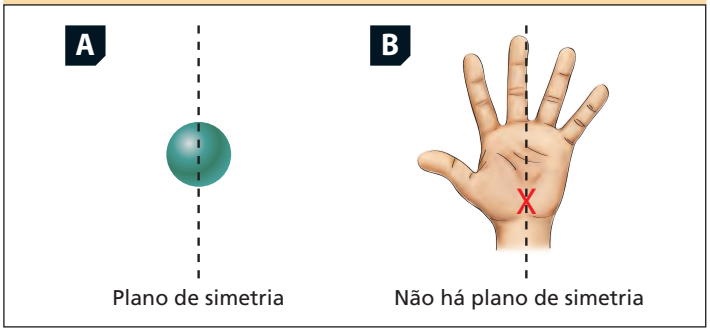


ILUSTRAÇÕES: (A) LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA; (B) e (C): THIAGO BENTO PEREIRA/ARQUIVO DA EDITORA

(A) Representação de uma esfera e sua imagem especular. **(B)** Representação da imagem especular da mão esquerda. **(C)** A mão esquerda e a mão direita (ou sua imagem especular) não são sobreponíveis. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Portanto, alguns objetos podem apresentar imagens especulares idênticas a eles e outros objetos, não. Isso ocorre em virtude da presença de um **plano de simetria**, isto é, um plano imaginário que divide o objeto em duas metades simétricas. Observe que as mãos não têm plano de simetria; assim, uma metade é completamente diferente da outra, tornando-a assimétrica.

Simetria

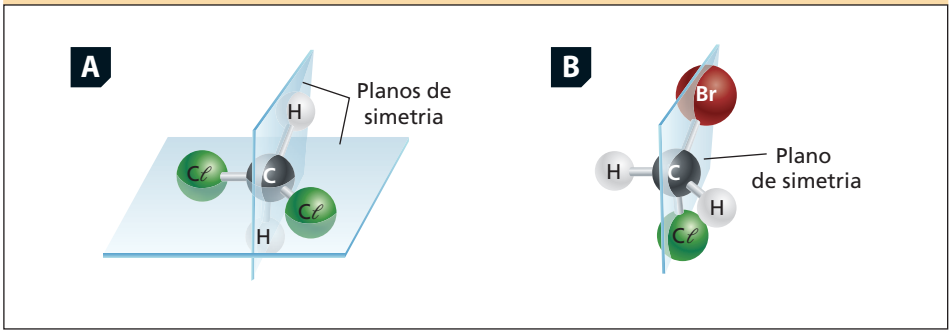


THIAGO BENTO PEREIRA/ARQUIVO DA EDITORA

(A) A existência de planos de simetria na esfera faz com que sua imagem especular seja idêntica a ela. **(B)** A ausência de um plano de simetria na mão faz com que ela seja diferente de sua imagem especular. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

A propriedade que determina que um objeto não pode ser sobreposto à sua imagem especular é um atributo geométrico e recebe o nome de **quiralidade**. Nesse contexto, um objeto **quiral** não apresenta nenhum plano de simetria. Em contrapartida, um objeto **aquiral** é aquele em que há pelo menos um plano de simetria.

Representações de planos de simetria presentes em moléculas aquirais



THIAGO BENTO PEREIRA/ARQUIVO DA EDITORA

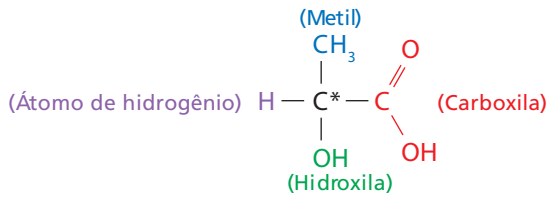
(A) Diclorometano. **(B)** Bromoclorometano. Note que, quanto maior a quantidade de átomos diferentes ligados ao átomo de carbono, menor é a quantidade de planos de simetria na molécula. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Enantiômeros e assimetria molecular

Em 1874, o físico-químico holandês Jacobus Henricus van't Hoff (1852-1911) e o químico francês Joseph Achille Le Bel (1847-1930), em trabalhos independentes, dando continuidade aos estudos do químico alemão Friedrich August Kekulé (1829-1896), propuseram que, se quatro substituintes diferentes entre si estão ligados a um átomo de carbono, eles se orientam no espaço ocupando um vértice de tetraedro cada um, com o átomo de carbono no centro. Nesse arranjo espacial, há apenas duas disposições espaciais possíveis para os substituintes, sendo uma a imagem especular não sobreponível da outra. Assim, nas moléculas que apresentam quiralidade, há um centro de quiralidade, denominado **centro estereogênico** (também chamado **carbono assimétrico**), que se caracteriza por fazer quatro ligações com quatro átomos ou grupos de átomos diferentes.

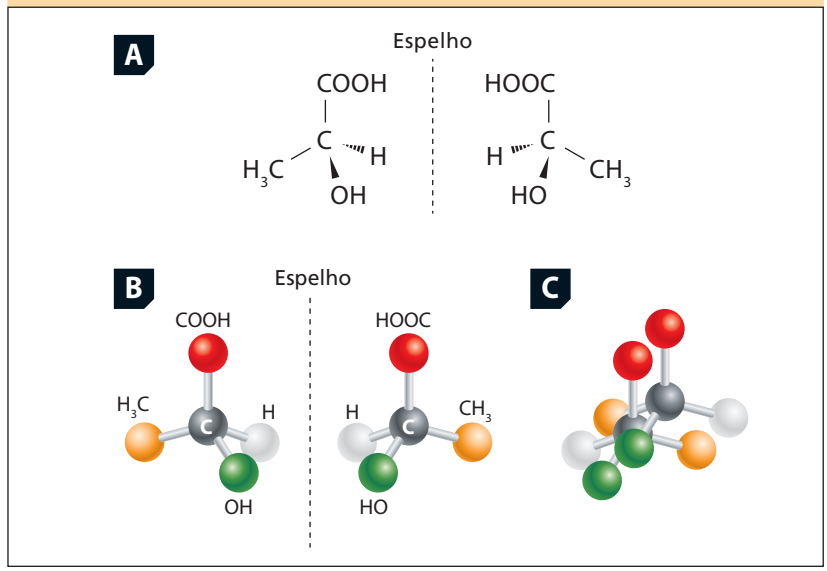
A seguir está representada a fórmula estrutural da molécula de ácido 2-hidroxipropanoico ($C_3H_6O_3$), mais conhecido como ácido lático, com o carbono assimétrico e grupos ligantes destacados. Note que o átomo de carbono tetraédrico marcado por um asterisco apresenta quatro grupos ligantes diferentes.



Ácido lático

A imagem a seguir mostra diferentes representações da molécula de ácido lático. Nas fórmulas estereoquímicas, o traço simples representa uma ligação que fica no plano da folha de papel, a cunha sólida representa uma ligação que se projeta para cima desse plano e a cunha tracejada representa uma ligação que se projeta para baixo dele.

Representações das moléculas de ácido 2-hidroxipropanoico



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

(A) Fórmula estereoquímica do ácido lático. **(B)** Modelo de esferas e bastões do ácido lático e sua imagem especular. **(C)** Note que não é possível sobrepor a molécula e sua imagem especular e que, portanto, o ácido lático é formado por moléculas quirais. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

As moléculas que formam o ácido lático são quirais, isto é, são moléculas assimétricas. Sendo assim, a imagem especular representa uma molécula com diferente arranjo espacial dos átomos, mas com a mesma fórmula molecular. Essas duas moléculas representam, portanto, estereoisômeros do ácido lático. Nesse tipo de isomeria, os isômeros são chamados **enantiômeros** (do grego *enantio* = oposto).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADE COMENTADA

Moléculas simples, como os hidrocarbonetos que contêm apenas átomos dos elementos químicos carbono e hidrogênio, também podem exibir o fenômeno de isomeria óptica. Represente a fórmula estrutural de um hidrocarboneto de cadeia aberta e ramificada que constitua um caso de isomeria óptica. Utilize, para isso, o menor número possível de átomos de carbono. Nomeie o composto proposto.

Analisar o enunciado

O enunciado informa que os hidrocarbonetos podem apresentar isomeria óptica e solicita a representação da fórmula estrutural de um hidrocarboneto de cadeia aberta e ramificada que constitua um caso de isomeria óptica. No entanto, determina que o hidrocarboneto representado deve ter o menor número possível de átomos de carbono.

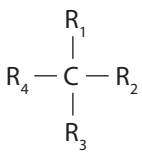
Selecionar as informações relevantes

Temos as seguintes informações:

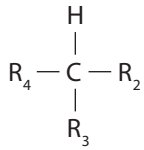
- Os hidrocarbonetos são formados exclusivamente pelos elementos químicos carbono e hidrogênio. Portanto, apenas ligantes contendo hidrogênio ou carbono e hidrogênio são permitidos.
- O hidrocarboneto em questão deve ter cadeia aberta e ramificada.
- Para encontrar um hidrocarboneto que exibe isomeria óptica, precisamos de um composto com pelo menos um átomo de carbono assimétrico, ou seja, um carbono quiral.
- A questão pede, ainda, que se utilize o menor número de carbonos possível. Para isso, escolheremos ligantes com poucos carbonos.

Aplicar o conceito estudado

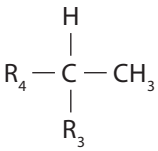
Vamos considerar uma molécula genérica em que R_1, R_2, R_3 e R_4 são os ligantes.



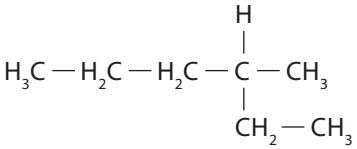
Podemos começar substituindo R_1 por um hidrogênio, pois, assim, utilizamos um ligante que não apresenta carbonos.



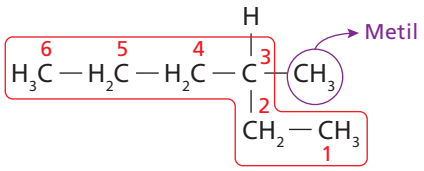
Agora, vamos substituir R_2 por um grupo metil (—CH_3), pois, entre os substituintes orgânicos, ele é o que apresenta o menor número de carbonos.



Por fim, podemos substituir R_3 e R_4 pelos grupos etil e propil que apresentam, respectivamente, dois e três átomos de carbono.



O hidrocarboneto formado apresenta cadeia ramificada. Dessa forma, para nomeá-lo, devemos selecionar a cadeia principal, numerar seus carbonos, determinar a localização e o nome da ramificação e, por fim, determinar o nome da cadeia principal.



Portanto, o nome do hidrocarboneto é 3-metil-hexano.

Verificar a solução

A estrutura proposta apresenta um carbono (identificado com o número 3) contendo quatro ligantes diferentes entre si, atendendo, dessa forma, ao pré-requisito para que a molécula constitua um caso da isomeria óptica.

Propriedades físico-químicas dos enantiômeros

As moléculas de enantiômeros não são sobreponíveis, sendo, portanto, relacionadas a compostos diferentes. Porém, ao contrário dos isômeros constitucionais e dos isômeros *cis-trans*, os enantiômeros não apresentam temperatura de ebulição e de fusão e solubilidade diferentes entre si. Isso ocorre porque essas propriedades são dependentes da magnitude e do tipo de interação entre as moléculas dos compostos, e, no caso de moléculas que são imagens especulares uma da outra, essas interações são idênticas. Como podemos, então, diferenciar os enantiômeros?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Registre em seu caderno

NA PRÁTICA Polarização da luz

Nesta atividade prática, investigaremos o modo como a radiação eletromagnética se comporta ao interagir com determinadas substâncias. Antes de iniciar a atividade, reúna-se em grupo e leia todo o procedimento.

OBJETIVO

Construir um polarímetro de baixo custo que permita investigar como diferentes substâncias interagem com a luz plano-polarizada.

MATERIAL

Avalie quantos grupos podem ser formados, de acordo com o material disponível na escola, ou estime os custos do experimento e determine a melhor forma de organizar o trabalho.

- 7 balões volumétricos de 100 mL
- Sacarose (açúcar comum)
- Glicerina (adquirida em farmácias)
- Frutose (adquirida em farmácias ou lojas de produtos naturais)
- Fonte de luz monocromática de até 40 W

Também é possível utilizar lâmpada ou lanterna pequena ou *flash* do celular.

- Proveta de vidro de 100 mL com fundo plano
- 2 filtros polarizadores, de diâmetro superior ao da proveta (adquiridos em lojas de material fotográfico)
- Suporte universal
- Garra
- 2 argolas (utilizadas em laboratório como suporte para funil)
- Água destilada
- Balança
- Fita adesiva colorida
- Transferidor de ângulo

Ou tubo de vidro (ou PVC) de dimensões similares, fechado em uma das extremidades por uma placa de vidro colada com cola de silicone de forma que não haja vazamentos.

PREPARE-SE!

1. O que poderá ser observado caso uma substância testada seja opticamente ativa?
2. O que se espera observar fazendo testes com soluções de concentrações diferentes da mesma substância?
3. Qual é a fórmula estrutural plana simplificada dos compostos sacarose, frutose e glicerina (também chamada glicerol)?

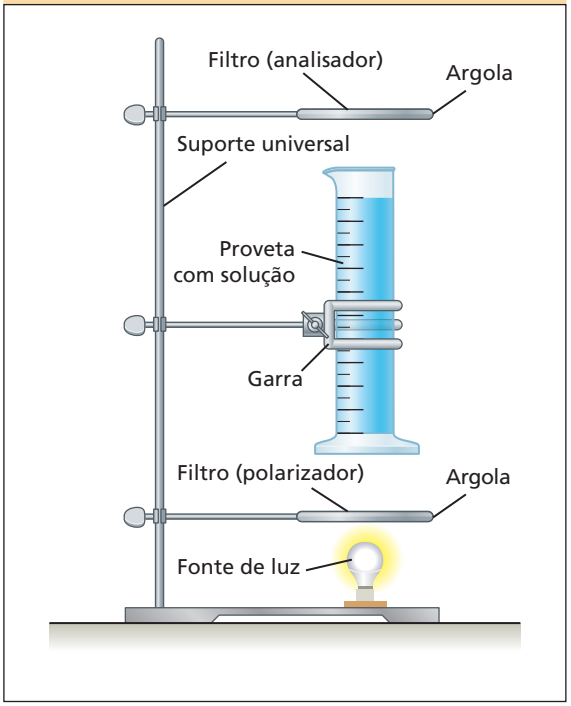
PROCEDIMENTO

Cada grupo poderá ficar responsável pelo preparo de uma solução. Se o tempo disponível para a aula prática não for suficiente, escolha entre analisar sacarose/glicerina ou frutose/glicerina.

Tenha atenção redobrada ao manusear a corrente elétrica e as vidrarias, pois podem causar ferimentos.
Não prepare as soluções próximo à fonte de luz monocromática.
Ao montar o arranjo proposto, verifique se não há nada frouxo ou mal fixado.

- Com o auxílio da balança e dos balões volumétricos, preparem 100 mL de cada uma das seguintes soluções aquosas: sacarose (10%, 30% e 50%), glicerina (10%) e frutose (10%, 30% e 50%) – considerem que as porcentagens correspondem à massa do soluto por volume de solução.
- Montem o arranjo óptico conforme representação a seguir, mantendo os filtros inferior (polarizador) e superior (analisador) perpendiculares ao eixo da proveta e à fonte de luz. Eles devem ser colocados sobre as argolas, permitindo sua livre rotação.

Aparato experimental



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática do arranjo proposto com uma fonte de luz monocromática. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

- Com a proveta inicialmente vazia e a fonte de luz monocromática acesa, fixem o filtro inferior em qualquer posição e girem o filtro superior em torno do seu eixo perpendicular. Anotem suas observações no caderno.
- Girem o filtro superior para encontrar uma posição em que seja possível obter o máximo de luminosidade, quando se olha através dele, e marquem essa posição (ângulo zero) com a fita adesiva. Em seguida, acrescentem água destilada na proveta. Observem se ocorre variação do ângulo que permite obter a máxima luminosidade.
- Substituam a água destilada pela solução de glicerina. Lavem a proveta com água destilada entre cada teste. Observem se ocorre variação do ângulo que permite obter a máxima luminosidade.
- Substituam, agora, pela solução de sacarose 50%. Em todas as análises, girem o filtro analisador, observem se ocorre alguma modificação e anotem no caderno.

Continua

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Continuação A cada teste, reposicione o filtro analisador na marcação 0 (zero), girando-o, para depois medir o ângulo de desvio com a ajuda do transferidor de ângulos.

Procurem observar, principalmente, se o ângulo de rotação necessário para manter o máximo de luminosidade depende da substância em estudo.

- Testem as demais soluções de sacarose e frutose. Verifiquem e anotem em cada caso o efeito da concentração sobre o ângulo de rotação do plano de vibração da luz polarizada. A cada troca de solução, lavem a proveta com um pouco da próxima solução que será analisada.

Fonte: elaborado com base em BAGATIN, O. *et al.* Rotação de luz polarizada por moléculas quirais: uma abordagem histórica com proposta de trabalho em sala de aula. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 21, p. 34-38, maio 2005. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc21/v21a07.pdf. Acesso em: 21 set. 2024.

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. Por que não se observa desvio do plano da luz polarizada no teste com a proveta vazia? Elabore hipóteses que justifiquem a sua resposta.
2. Foi possível perceber desvio do plano da luz polarizada ao colocar água na proveta? E quando a solução de glicerina foi testada? Utilize as fórmulas estruturais planas da água e do glicerol para justificar suas respostas.
3. As soluções aquosas de sacarose ou frutose desviam o plano da luz polarizada? Explique esse resultado com base nas estruturas das moléculas.
4. O que pôde ser observado quando as soluções aquosas de diferentes concentrações de sacarose e de frutose foram expostas à luz polarizada?
5. Reproduza a tabela a seguir no caderno, indicando os ângulos de rotação do plano da luz polarizada observados a cada teste.

Substância	Concentração		
	10 g L^{-1}	30 g L^{-1}	50 g L^{-1}
Glicerol		Não testada	Não testada
Sacarose			
Frutose			

6. Elabore um gráfico apresentando os resultados obtidos, relacionando a concentração da solução (g L^{-1}) com o ângulo de rotação (°) para cada substância. Conforme orientações do professor, organize as conclusões obtidas e compare-as com as dos colegas.

MODELO MODELO

Caso apareçam dados divergentes entre si, explique o conceito de erro de leitura inerente ao pesquisador e à imprecisão do equipamento montado. Como alternativa, pode-se construir um gráfico final utilizando as médias das leituras realizadas por todos os grupos.

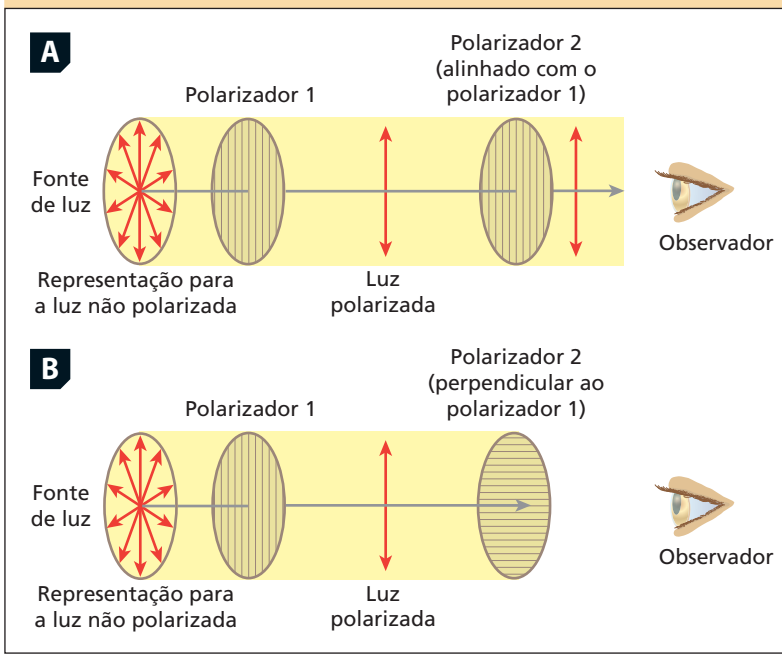
A luz polarizada e os enantiômeros

A luz é um fenômeno eletromagnético. Isso significa que um feixe de luz é composto de dois campos oscilantes e perpendiculares entre si: um campo elétrico e um campo magnético. O feixe de luz proveniente de uma lâmpada é constituído por radiação eletromagnética com os componentes elétrico e magnético oscilando em todos os planos possíveis. Essa luz é denominada não polarizada.

Quando posicionamos o filtro polarizador, só determinados feixes do campo eletromagnético da luz conseguem atravessá-lo, resultando em feixes que oscilam em apenas um plano. Essa luz é chamada **luz polarizada**.

Ao posicionarmos dois polarizadores alinhados entre si, no caminho de um feixe de luz, haverá passagem de luz por eles. Caso os filtros não estejam alinhados, a luz será, em parte, bloqueada. Observe a seguir.

Polarização da luz



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em SOLOMONS, G.; FRYHLE, C. **Química orgânica**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001. v. 1.

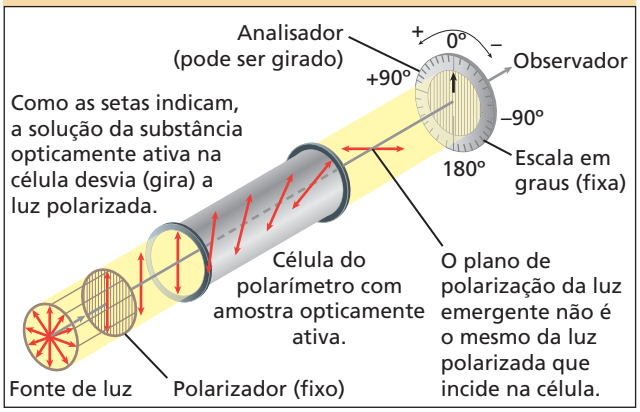
(A) O observador é capaz de enxergar a luz proveniente da fonte. **(B)** O observador não é capaz de enxergar a luz proveniente da fonte ou a enxerga com pouca intensidade. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Deixe claro aos estudantes que, apesar de a representação da luz polarizada ser uma seta em um sentido, por ser uma onda eletromagnética, ela mantém um campo elétrico oscilante e um campo magnético perpendicular. Ou seja, para cada campo elétrico, sempre haverá um campo magnético perpendicular correspondente.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Ao fazer com que um feixe de luz polarizada atravesse um sistema no qual há moléculas assimétricas, observa-se uma rotação no plano de vibração da luz. Cada enantiômero é capaz de desviar o plano da luz polarizada em direções opostas – por isso esses compostos são chamados compostos **opticamente ativos**. Para medir esse efeito, utiliza-se um polarímetro, representado a seguir. Esse desvio pode ocorrer no sentido horário ou anti-horário, dependendo do enantiômero presente.

Representação esquemática de um polarímetro



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em SOLOMONS, G.; FRYHLE, C. **Química Orgânica**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001. v. 1.

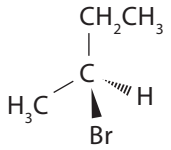
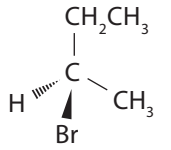
O polarímetro é um instrumento utilizado para medir o efeito de compostos opticamente ativos sobre a luz polarizada. Quando a célula do polarímetro contém uma amostra de enantiômero, o plano de polarização da luz que atravessa a amostra é desviado. Para detectar a intensidade máxima de luz, o observador deve girar o eixo do analisador (polarizador) no sentido horário ou anti-horário. Se o analisador for girado no sentido horário, a rotação (medida em graus) será considerada positiva (+); se for girado no sentido anti-horário, a rotação será considerada negativa (–). (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Por convenção, o enantiômero capaz de desviar a luz polarizada no sentido horário – sentido dos ponteiros nos relógios analógicos – é denominado **dextrogiro** ou dextrorrotatório (do latim *dextro*, que significa direita), representado pelo símbolo (+) antes da nomenclatura do composto. Já o enantiômero que desvia a luz polarizada no sentido anti-horário é chamado **levogiro** ou levorrotatório (do latim *laevus*, que significa esquerda), representado pelo símbolo (–) antes da nomenclatura do composto.

Por desviarem a luz polarizada, os enantiômeros também podem ser chamados **isômeros ópticos**. Esses isômeros são compostos distintos que apresentam a mesma fórmula molecular e atividades ópticas diferentes. Os isômeros ópticos e os isômeros *cis-trans* são chamados **estereoisômeros** por apresentarem as mesmas ligações químicas entre os átomos que compõem as moléculas, porém com um arranjo espacial distinto.

Note, na tabela a seguir, que, nas mesmas condições de análise (concentração da amostra, tamanho da célula do polarímetro, comprimento de onda da luz, temperatura e pressão), o desvio que ocorre no plano da luz polarizada tem o mesmo valor (em graus) para os dois enantiômeros. A diferença é que um deles, (+)-2-bromobutano, desvia o plano da luz no sentido horário, e o outro, (–)-2-bromo-butano, no sentido anti-horário.

Propriedades ópticas dos enantiômeros do 2-bromobutano

Enantiômero	Desvio da luz polarizada (°)
 (+)-2-bromobutano	+23,1
 (–)-2-bromobutano	–23,1

Fonte: VOLLHARDT, P.; SCHORE, N. **Química Orgânica**: estrutura e função. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

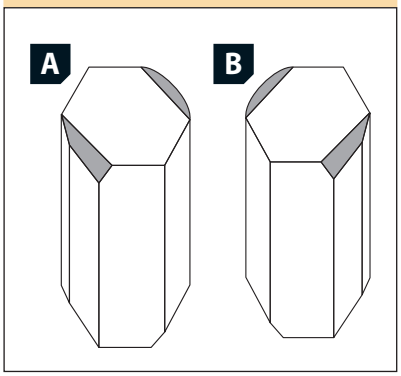
Representação dos enantiômeros do 2-bromobutano e respectivos ângulos de desvio da luz polarizada (a 20 °C).

Mistura racêmica

Em 1848, o químico e microbiologista francês Louis Pasteur (1822-1895) estudou o ácido tartárico e uma série de seus sais relacionando estrutura cristalina e propriedades ópticas em solução aquosa.

Pasteur, ao verificar que um dos sais do ácido tartárico se comportava diferentemente do esperado, investigou seus cristais mais detalhadamente. Ele notou duas estruturas cristalinas diferentes que eram imagens especulares uma da outra e não sobreponíveis entre si, como representado a seguir. O cientista separou os cristais um a um, em dois grupos, e os examinou em um polarímetro.

Representação de cristais de sal de amônio do ácido tartárico



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: COELHO, F. A. S. Fármacos e quiralidade. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 3, maio 2001.

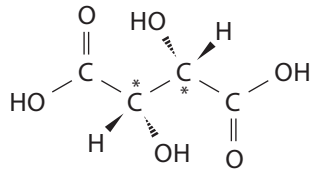
(A) Representação do cristal do sal de amônio derivado do (–)-ácido tartárico. **(B)** Representação do cristal do sal de amônio derivado do (+)-ácido tartárico. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Se julgar conveniente, esclareça que eles também podem encontrar os descritores D/L, baseados na convenção Fischer-Rosanoff, que são comumente usados na nomenclatura de produtos naturais, principalmente carboidratos. No entanto, esses descritores não necessariamente coincidem com a atividade óptica do enantiômero. Por exemplo, a D-frutose é levogira ($\alpha D = -92{,}4°$).

Se julgar conveniente, use o próprio exemplo do ácido tartárico para apresentar o caso dos compostos meso, que apresentam dois centros estereogênicos e são opticamente inativos por apresentarem um plano de simetria. Aproveite para retomar o conceito de diasteroisômero, comparando o ácido mesotartárico com os ácidos dextrogiro e levogiro.

Os cristais de um dos grupos, quando dissolvidos em água, desviavam para o lado direito o plano da luz polarizada incidente. Assim, o ácido que originava esses cristais foi denominado (+)-ácido tartárico.


(+)-ácido tartárico

A solução dos cristais do segundo tipo era levogira: desviava a luz polarizada em sentido oposto ao da solução de cristais do primeiro grupo. Desse modo, o ácido que originava esses cristais foi denominado (–)-ácido tartárico.

As duas substâncias, quando misturadas em proporções iguais, não desviavam a luz. Para essas misturas, Pasteur deu o nome de racemato. Assim, a expressão **mistura racêmica** (do latim *racemeus*, que significa "cacho de uva") designa uma mistura que contém concentrações iguais de dois enantiômeros e, por isso, é opticamente inativa. O ácido tartárico é encontrado na uva e geralmente fica depositado nos barris durante o processo de envelhecimento do vinho.

Enfatize que os enantiômeros têm as mesmas propriedades físico-químicas e, portanto, não é possível separá-los por meio dos processos de separação tradicionalmente estudados. A única diferença entre eles é o sentido do desvio da luz polarizada, que vai defini-los como dextrogiro e levogiro, e a interação com outras moléculas assimétricas.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

4. Considere as seguintes substâncias químicas, que podem ser utilizadas como precursoras na síntese de medicamentos.

I. ácido-2-aminobutanoico.

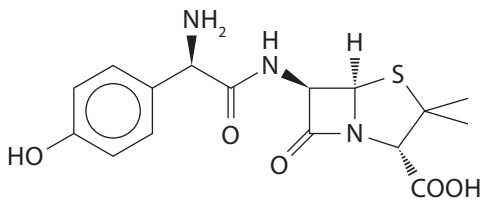
II. 2-cloro-cicloexanal.

III. 1-bromopropeno.

a. Desenhe suas fórmulas estruturais, identificando com um asterisco todos os átomos de carbono assimétricos.

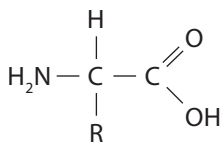
b. Todos os compostos apresentam casos de isomeria óptica? Justifique sua resposta.

5. A amoxicilina é um antibiótico sintético amplamente utilizado no tratamento de infecções causadas por bactérias. Sua estrutura química é derivada de um outro antibiótico bastante conhecido: a penicilina.



Quantos carbonos quirais existem na molécula da amoxicilina? Indique-os na estrutura.

6. Pele, cabelos, cartilagens e muitas outras partes de nosso corpo são constituídas de proteínas, as quais são arranjos complexos de aminoácidos ligados entre si por meio de ligações peptídicas. Os aminoácidos diferenciam-se entre si basicamente pelo substituinte R, apresentando uma fórmula geral:



A seguir, são apresentados alguns aminoácidos e seus respectivos substituintes R.

Aminoácido	Substituinte R
Glicina	–H
Alanina	$–CH_3$
Serina	$–CH_2–OH$
Cisteína	$–CH_2–SH$
Metionina	$–CH_2–CH_2–S–CH_3$

Dos aminoácidos apresentados, o(s) que **NÃO apresenta(m)** isomeria óptica é(são): 6. Alternativa **d**.

a. glicina e alanina

b. serina e cisteína

c. alanina

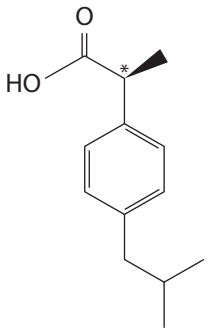
d. glicina

e. cisteína e metionina

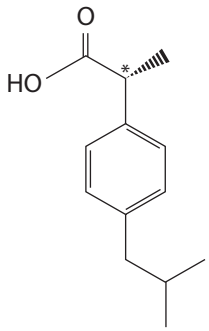
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Quiralidade e atividade biológica

Quase todos os medicamentos que têm como princípio ativo o ibuprofeno são vendidos como mistura racêmica. Porém, somente o isômero (+)-ibuprofeno tem o efeito analgésico no organismo, ao passo que o enantiômero (–)-ibuprofeno não tem atividade biológica. Como o enantiômero levogiro não possui nenhum efeito danoso conhecido, não é viável financeiramente adicionar etapas para separá-lo. A seguir, são apresentados os enantiômeros do ibuprofeno.



(+)-ibuprofeno: forma biologicamente ativa



(–)-ibuprofeno: forma biologicamente inativa

Esse não é o caso, por exemplo, do medicamento talidomida, empregado atualmente no tratamento da hanseníase e distribuído exclusivamente pelo Sistema Único de Saúde (SUS). O enantiômero levogiro tem efeito teratogênico (saiba mais na seção **Em Foco**, a seguir).

As diferentes configurações de isômeros podem levar a efeitos biológicos distintos no organismo, pois a interação dessas moléculas ocorre de forma específica por meio de receptores localizados nas membranas das células. Esses receptores são geralmente proteínas, macromoléculas que apresentam organização espacial específica para cada função. Quando um isômero se liga a um desses receptores, o complexo formado pode desencadear uma série de reações que resultam no efeito desejado ou, às vezes, adverso.

Reações estereosseletivas

Na síntese de muitos fármacos, é necessário conhecer o arranjo espacial das moléculas a fim de garantir o efeito biológico esperado. Entretanto, pelo fato de isômeros ópticos apresentarem exatamente as mesmas propriedades físico-químicas, a síntese de moléculas que apresentam centros de quiralidade, geralmente, leva à formação de misturas racêmicas. Assim, essa mistura pode conter algum enantiômero cujo efeito biológico seja prejudicial ao organismo.

Existem reações químicas que possibilitam a síntese de apenas um dos isômeros de interesse, chamadas reações estereosseletivas. Geralmente, essas sínteses envolvem várias etapas e reagentes, um dos motivos pelos quais a produção de fármacos pode ser um processo caro.

Registre em seu caderno

EM FOCO Talidomida: de vilã a heroína?

ODS 3

A talidomida foi inicialmente lançada no final dos anos 1950 como um sedativo e, como foi considerada segura, foi prescrita para o enjoo matinal e a insônia de mulheres grávidas. Era um medicamento muito eficiente, e logo estava sendo prescrita a milhares de mulheres em todo o mundo. Infelizmente, descobriu-se que ela era a causa de graves defeitos congênitos em crianças cujas mães tinham tomado o medicamento nas etapas iniciais da gestação. Estima-se que mais de 10.000 crianças nasceram com [mal]formações, muitas sem braços e pernas. Foi uma tragédia terrível, cujos efeitos são sentidos até hoje.

A talidomida tem um único centro de quiralidade e por isso existe como dois enantiômeros. No final dos anos 1950, a talidomida era vendida como uma mistura racêmica de enantiômeros, mas não se sabia que os dois enantiômeros tinham efeitos diferentes nos seres vivos. Nos humanos,

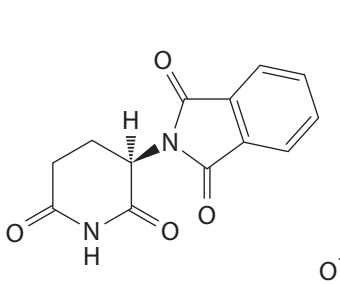
Continua

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

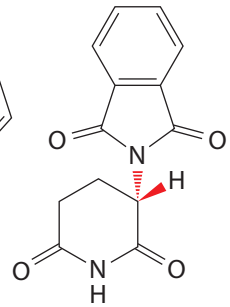
Continuação

o enantiômero R é um sedativo eficiente com poucos efeitos colaterais, mas o enantiômero S é teratogênico (causa malformação nos fetos). Sabemos que, mesmo se o enantiômero R puro de talidomida fosse administrado, o desastre muito provavelmente não teria sido evitado, pois o enantiômero R pode se converter no enantiômero S no organismo.

Um resultado positivo desse desastre é que ele levou a uma nova legislação sobre os testes de medicamentos. Agora, todas as formas quirais de um medicamento têm de ser rigorosamente testadas para se verificarem efeitos colaterais e estabilidade *in vivo* (em um organismo vivo) antes da aprovação.



R-talidomida
(sedativo)



S-talidomida
(teratogênico)

Atualmente, a talidomida racêmica é usada com grandes precauções para tratar a hanseníase [...], que é uma doença infecciosa e terrível que ataca a pele, os nervos e as membranas mucosas (principalmente os olhos). Estudos também estão sendo realizados para determinar a eficácia da talidomida no tratamento dos sintomas associados à AIDS e a alguns tipos de câncer. [...]

Fonte: BURROWS, A. *et al*. **Chemistry**[3]: introducing inorganic, organic, and physical chemistry. 3rd ed. United Kingdom: Oxford University Press, 2017. v. 2. (Tradução nossa).

Os descritores R e S que aparecem no texto são uma nomenclatura alternativa (que não será abordada nesta coleção) para designar a configuração de um átomo de carbono quiral.

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. Quantos átomos de carbono quirais há na molécula da talidomida? Represente a fórmula estrutural da molécula identificando o(s) carbono(s) quiral(is) com asterisco.

2. Segundo as informações do texto, assinale a única proposição verdadeira:

I. Atualmente, quase todos os medicamentos são vendidos na forma enantiomericamente pura, o que diminui a possibilidade de efeitos colaterais.

II. Geralmente, os dois isômeros que constituem um par de enantiômeros têm ações terapêuticas muito assemelhadas, por isso não há problema na comercialização de medicamentos em forma de mistura racêmica.

III. Há casos de racemização dos medicamentos, isto é, mesmo que seja ingerido apenas um enantiômero, o corpo é capaz de transforma-lo no outro; assim, em situações como essa, de nada adiantaria a comercialização de enantiômeros puros.

IV. Proibida, a talidomida nunca mais foi usada para fins médicos.

3. (Enem) A talidomida é um sedativo leve e foi muito utilizado no tratamento de náuseas, comuns no início da gravidez. Quando foi lançada, era considerada segura para o uso de grávidas, sendo administrada como uma mistura racêmica composta pelos seus dois enantiômeros (R e S). Entretanto, não se sabia, na época, que o enantiômero S leva à malformação congênita, afetando principalmente o desenvolvimento normal dos braços e pernas do bebê.

COELHO, F. A. S. Fármacos e quiralidade. **Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 3, maio 2001 (adaptado).

Essa malformação congênita ocorre porque esses enantiômeros 3. Alternativa **d**.

a. reagem entre si.
b. não podem ser separados.
c. não estão presentes em partes iguais.
d. interagem de maneira distinta com o organismo.
e. são estruturas com diferentes grupos funcionais.

4. A talidomida atualmente é utilizada com precauções para tratar doenças graves. Como você vê essa "reabilitação" do medicamento? Você acredita que a sociedade deve permitir ou encorajar o uso de um medicamento com um passado tão controverso? Justifique sua resposta com base nos riscos e benefícios atuais.

5. Faça uma pesquisa sobre quais são os direitos que as vítimas do medicamento talidomida têm no Brasil.

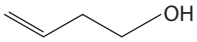
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

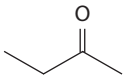
ATIVIDADES DE FECHAMENTO

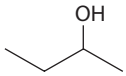
Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

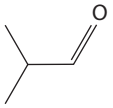
1. (Unioeste-PR) Isômeros constitucionais são moléculas que apresentam a mesma fórmula molecular diferindo entre si, pela conectividade dos átomos que tomam parte da estrutura. Considerando a fórmula molecular C_4H_8O, indique a alternativa que apresenta a estrutura que NÃO é isômera das demais 1. Alternativa **d**.

a.

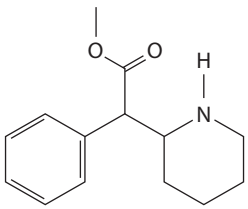
b.


c.


d.


e.


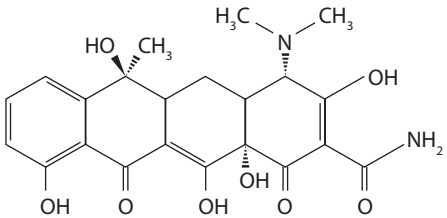
2. (FGV-SP) O metilfenidato, estrutura química representada na figura, é uma substância utilizada como fármaco no tratamento de casos de transtorno de déficit de atenção e hiperatividade. 2. Alternativa **e**.



Na estrutura do metilfenidato, o número de carbonos assimétricos e a sua fórmula molecular são, respectivamente:

a. 1 e $C_{12}H_{15}NO_2$.
b. 1 e $C_{13}H_{17}NO_2$.
c. 1 e $C_{14}H_{19}NO_2$.
d. 2 e $C_{13}H_{17}NO_2$.
e. 2 e $C_{14}H_{19}NO_2$.

3. A tetraciclina é um importante antibiótico utilizado contra uma grande variedade de bactérias. Sua fórmula estrutural é apresentada a seguir.

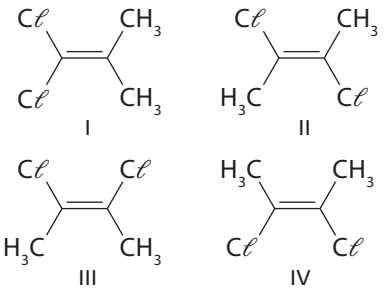


a. Copie em seu caderno a fórmula estrutural. Determine se a tetraciclina apresenta enantiomeria e, caso apresente, aponte os centros assimétricos.

b. O arranjo espacial dos átomos em um isômero óptico influencia na sua atividade biológica. Explique, com suas palavras, por que isso ocorre.

Comente com os estudantes que, embora não recomendado, ponto de ebulição foi utilizado nesta questão no lugar de temperatura de ebulição.

4. (UFMG) Considere as estruturas representadas a seguir. 4. Alternativa **d**.



Sobre esses compostos, é INCORRETO afirmar que

a. II e III são isômeros geométricos.
b. todos os compostos apresentam a mesma fórmula molecular.
c. III e IV representam o mesmo composto.
d. o ponto de ebulição de II é maior que o de III.

5. Leia o texto a seguir e responda ao que se pede.

A Anvisa publicou [...] regras que limitam o uso de gorduras trans industriais em alimentos. [...]

A medida visa proteger a saúde da população, uma vez que o consumo elevado dessas gorduras é nocivo à saúde por favorecer o surgimento de problemas cardiovasculares [...] e aumentar o risco de morte por essas doenças.

[...] as gorduras trans podem ser encontradas na formulação de margarinas, biscoitos, *snacks*, bolos, [...] entre muitos outros alimentos industrializados. [...]

As gorduras trans, tecnicamente conhecidas como ácidos graxos trans, são um tipo de gordura que pode ser encontrada de forma natural nos alimentos derivados de animais ruminantes (bois, cabras, carneiros, entre outros), como carnes, banha, queijos, manteiga, iogurtes e leite integral, ou que pode ser produzida industrialmente durante a hidrogenação parcial de óleos vegetais ou seu tratamento térmico.

Nos alimentos derivados de animais ruminantes, as concentrações de gorduras trans são consideradas pequenas, portanto, em níveis seguros para consumo. De acordo com a Anvisa, a maior preocupação é com os produtos industrializados.

[...]

Por isso, a norma da Anvisa é focada na gordura trans industrial, que consiste em uma gordura mais sólida e que cumpre função tecnológica no processo de industrialização, conferindo crocância aos alimentos e aumentando o prazo de validade dos produtos. [...]

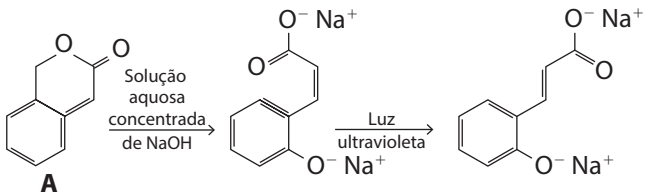
Fonte: AGÊNCIA Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa). **Publicada norma sobre gordura *trans* em alimentos**. Brasília, 1 jul. 2022. Disponível em: https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/noticias-anvisa/2020/publicada-norma-sobre-gordura-trans-em-alimentos. Acesso em: 1 ago. 2024.

Se julgar conveniente, você pode transformar este exercício em uma atividade de pesquisa.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Redija um pequeno texto dissertativo sobre o que é gordura *trans* e quais são as vantagens e desvantagens de sua presença nos alimentos. Use suas próprias palavras e aplique os conceitos químicos trabalhados no capítulo.

6. (Fuvest-SP) Na Inglaterra, não é permitido adicionar querosene (livre de imposto) ao óleo diesel ou à gasolina. Para evitar adulteração desses combustíveis, o querosene é "marcado", na sua origem, com o composto A, que revelará sua presença na mistura após sofrer as seguintes transformações químicas:



A

incolor solúvel no combustível | não fluorescente solúvel em água | fluorescente solúvel em água

Um técnico tratou uma determinada amostra de combustível com solução aquosa concentrada de hidróxido de sódio e, em seguida, iluminou a mistura com luz ultravioleta. Se no combustível houver querosene (marcado),

I. no ensaio, formar-se-ão duas camadas, sendo uma delas aquosa e fluorescente.

II. o marcador A transformar-se-á em um sal de sódio, que é solúvel em água.

III. a luz ultravioleta transformará um isômero *cis* em um isômero *trans*.

Dessas afirmações, 6. Alternativa **e**.

a. apenas I é correta.

b. apenas II é correta.

c. apenas III é correta.

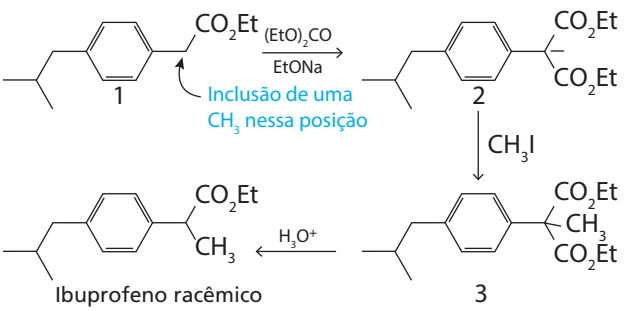
d. apenas I e II são corretas.

e. I, II e III são corretas.

Obs.: Fluorescente = que emite luz

7. Experimentalmente, é possível perceber diferença entre as temperaturas de fusão de isômeros *cis-trans* a uma mesma pressão atmosférica. Represente as fórmulas estruturais dos dois isômeros, *cis* e *trans*, do pent-2-eno (C_5H_{10}) e explique qual deles tem maior temperatura de fusão na mesma pressão atmosférica. Considere que a intensidade das forças intermoleculares decresce com a distância entre as moléculas.

8. A representação a seguir corresponde à rota sintética para produção do ibuprofeno em que, ao final, os dois enantiômeros são formados (ibuprofeno racêmico).



Fonte: COELHO, F. A. S. Fármacos e quiralidade. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 3, p. 23-32, maio 2001.

Qual(is) etapa(s) da síntese do ibuprofeno pode(m) ser modificada(s) a fim de que somente o produto biologicamente ativo seja formado ao final do processo? Justifique a sua escolha.

Nota dos autores: o ibuprofeno não apresenta o grupo etil (CH_3CH_2—), representado na rota sintética por Et. A etapa de remoção desse grupo foi suprimida do esquema, mas isso não altera a formação do isômero opticamente ativo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Capítulo 18

Reações orgânicas e substâncias bioativas

RAFAPRESS/ISTOCK/GETTY IMAGES

No Brasil, os medicamentos genéricos foram legalizados em 1999 pelo governo federal com o objetivo de ampliar o acesso da população aos medicamentos por meio da redução de seus custos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Fique por dentro

Álcool × medicamentos

NORONHA, T. **Álcool × medicamentos**. Conselho Regional de Farmácia do Estado de São Paulo, São Paulo, 30 jul. 2012. Disponível em: http://portal.crfsp.org.br/index.php/noticias/3622-alcoolx-medicamentos.html. Acesso em: 18 ago. 2024.

Artigo que apresenta os resultados de uma pesquisa que avaliou os efeitos da interação entre o etanol presente nas bebidas alcoólicas e vários medicamentos.

As **substâncias bioativas**, também chamadas **princípios ativos**, são aquelas com ação metabólica ou fisiológica. No estudo da Farmacologia, toda substância bioativa, natural ou sintética, é classificada como **droga**, independentemente de os efeitos serem ou não benéficos à saúde. Quando uma droga apresenta aplicação terapêutica, passa a ser denominada também **fármaco**.

Já os **medicamentos** são formulações que contêm fármacos em suas composições e têm comprovação científica de que aliviam sintomas ou curam doenças. Esses medicamentos podem ser classificados como **referência** (medicamento original, ou seja, registrado primeiro por determinada indústria farmacêutica, com comercialização exclusiva via patente), **similar** (mesmo princípio ativo que o de referência farmacêutica, mas com alguma diferença como tamanho, dosagem etc.) ou **genérico** (idêntico ao de referência, mas produzido por outro laboratório, geralmente com um preço menor que o de referência).

A compreensão de como são desenvolvidas novas substâncias bioativas, assim como as bases moleculares de seus efeitos no organismo, passa pelo estudo das reações típicas das várias classes de compostos orgânicos e das propriedades físico-químicas dessas classes de substâncias.

Faça um levantamento das ideias que os estudantes já têm sobre o uso dos termos "drogas", "fármacos", "medicamentos" e "remédios". Indique que os termos são, muitas vezes, utilizados como sinônimos e que a classificação e a denominação corretas fazem parte dos processos de sistematização do conhecimento científico.

Tabaco

Dados do Ministério da Saúde de 2019 indicaram que cerca de 12,6% dos brasileiros maiores de 18 anos são fumantes habituais ou ocasionais. O consumo de tabaco, na forma de cigarros, charutos, narguilé, cigarros eletrônicos etc., representa um fator de risco para o desenvolvimento de diversas doenças, como pneumonia, doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC), cânceres de pulmão, boca e traqueia, osteoporose e problemas circulatórios, como a aterosclerose.

A **nicotina** ($C_{10}H_{14}N_2$) é um composto bioativo presente no tabaco e que causa dependência química, razão pela qual a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) reconhece o tabagismo, por si só, como uma doença crônica.

Desde o final da década 1980, o Brasil desenvolve políticas de controle ao tabagismo que envolvem ações educativas e de atenção à saúde, como os alertas a seguir, além de medidas legislativas e econômicas – como definição de preço mínimo de venda e elevação da carga tributária que incide sobre esses produtos.

A fumaça do cigarro é uma mistura de diferentes substâncias, que são encontradas no estado gasoso e em forma de partículas sólidas, que estão suspensas no ar. Parte dessas substâncias são **hidrocarbonetos aromáticos** produzidos durante a combustão incompleta de outras substâncias presentes no cigarro, como os **hidrocarbonetos policíclicos aromáticos** (HPA). Os HPA são considerados poluentes ambientais, e treze deles são classificados como compostos carcinogênicos e genotóxicos, ou seja, que podem provocar mudanças no material genético das células.

Pouco se sabe sobre o mecanismo de ação dos HPA no organismo; portanto, não há determinação de um limite máximo de ingestão. Além disso, cada organismo tende a responder de maneiras diferentes à presença dessas substâncias.

ANVISA/MINISTÉRIO DA SAÚDE/GOVERNO FEDERAL

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Advertências sanitárias obrigatórias nas embalagens de cigarros.

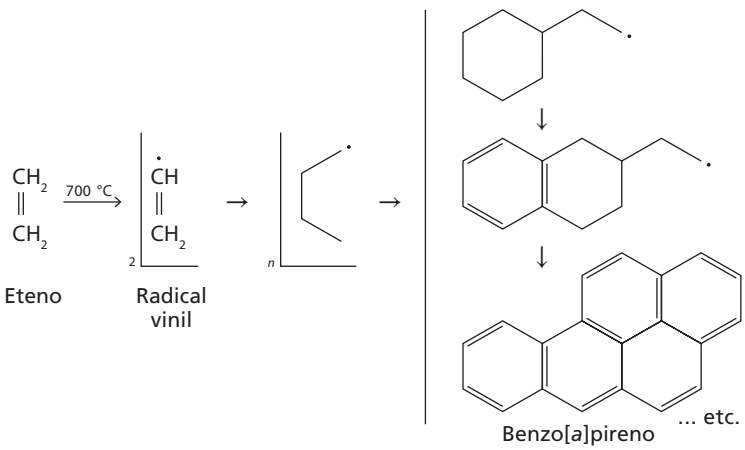
Reações radicalares

O benzo[*a*]pireno é um exemplo de substância produzida a partir de moléculas menores por meio de reações químicas, conhecidas como **reações de adição**, que incorporam novos átomos à molécula sem que outros sejam removidos. Um dos mecanismos aceitos para a formação de HPA envolve a reação de radicais livres até a formação dos anéis benzênicos condensados. Os **radicais livres** são espécies químicas que apresentam elétrons não emparelhados, como é o caso do NO, que possui número ímpar de elétrons, ou quando ocorre a **homólise** de uma ligação covalente, de modo que cada átomo participante da ligação retém um dos elétrons.

Monóxido de nitrogênio

Se julgar conveniente, comente com os estudantes que o NO representa uma das exceções à regra do octeto.

O benzo[*a*]pireno pode ser formado pela reação de adição radicalar do eteno (C_2H_4). Esse reagente, ao ser submetido à alta temperatura, forma radicais livres, os quais, por serem muito reativos, iniciam uma **reação em cadeia**, ou seja, são geradas diversas moléculas de produto para cada radical formado. Acompanhe.



Eteno — Radical vinil — Benzo[*a*]pireno

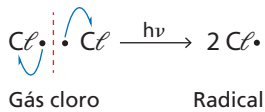
Fonte: LOPES, W. A.; ANDRADE, J. B. Fontes, formação, reatividade e quantificação de hidrocarbonetos policíclicos (HPA) na atmosfera. **Química Nova**, v. 19, n. 5, 1996.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

As **reações de substituição** envolvendo hidrocarbonetos saturados de cadeia aberta, os **alcanos**, nos quais ligações carbono-hidrogênio são substituídas por ligações do carbono com átomos de outro elemento químico, também ocorrem via radicais livres.

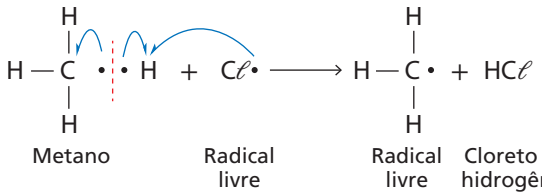
Repare no exemplo de uma reação catalisada por luz de comprimentos de onda na faixa do ultravioleta (representada por hν), em que um átomo de hidrogênio do metano (CH_4) é substituído por um átomo de cloro do gás cloro ($C\ell_2$). Didaticamente, podemos dividir o mecanismo dessa reação em três etapas.

1ª Etapa: formação dos radicais livres. Essa é a etapa mais lenta do processo.



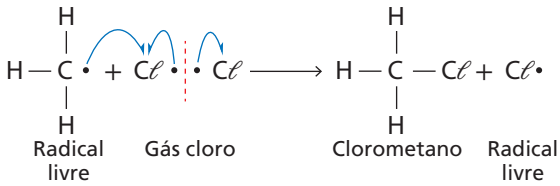
Comente que, em Química Orgânica, as setas curvas são utilizadas na descrição de mecanismos de reação para demonstrar o movimento dos elétrons. A seta de meia ponta indica o movimento de um único elétron e a seta de ponta cheia, o movimento de um par de elétrons.

2ª Etapa: ruptura homolítica da ligação C — H.



Reforce que o nome ácido clorídrico é aplicado, geralmente, quando a substância se encontra em solução aquosa e, portanto, ionizada. Para os outros casos, utiliza-se a nomenclatura composicional para os compostos inorgânicos, como indicado em cloreto de hidrogênio.

3ª Etapa: formação de uma ligação C — Cℓ e de outro radical cloro.



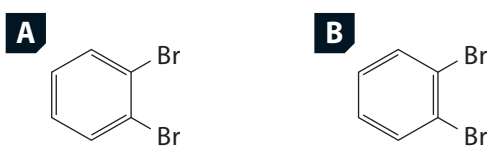
A reação em cadeia cessa pela ligação entre duas espécies químicas radicalares.

Compostos que apresentam átomos de halogênios ligados a uma cadeia carbônica derivada de hidrocarbonetos alifáticos são classificados como **haletos de alquila**. A nomenclatura desses compostos é construída indicando-se o halogênio como um grupo substituinte, ou seja, antes do nome do hidrocarboneto, como em clorometano ($CH_3C\ell$). Esse produto da cloração do metano também pode ser nomeado como cloreto de metila, dado pela indicação do nome do haleto seguido da preposição "de" e do nome do grupo orgânico, nesse caso, o grupo metil, acompanhado da terminação "a".

Os haletos orgânicos também são estudados no capítulo 15.

Substituição eletrofílica: estudando a halogenação do benzeno

O benzeno é um líquido incolor de odor acentuado e inflamável que foi obtido pela primeira vez em 1825, pelo físico-químico inglês Michael Faraday (1791-1867). Depois disso, uma das únicas informações que os químicos tinham a respeito desse composto era que as moléculas de benzeno são formadas apenas por seis átomos de carbono e seis átomos de hidrogênio. Somente em 1865, o químico alemão Friedrich August Kekulé (1829-1896) propôs uma fórmula estrutural para a molécula de benzeno. De acordo com essa proposta, os átomos de carbono formariam um anel no qual haveria ligações duplas e simples alternadas entre esses átomos, com um átomo de hidrogênio ligado a cada átomo de carbono. Desse modo, seria possível formar dois produtos diferentes provenientes da bromação do benzeno:

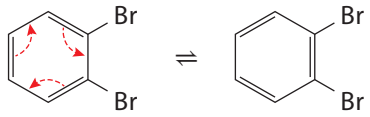


Se julgar conveniente, construa modelos com bexigas para ajudar os estudantes a visualizar as superposições frontal e lateral dos orbitais "s" e "p" que levam às ligações σ e π. Os orbitais atômicos e a teoria da ligação de valência são estudados no capítulo 2.

A fórmula estrutural de Kekulé para o benzeno prevê que devem existir dois compostos 1,2-dibromobenzeno ($C_6H_4Br_2$). **(A)** Em um desses compostos hipotéticos, os átomos de carbono ligados aos átomos de bromo estariam separados por uma ligação simples. **(B)** Nesse outro composto, eles estariam separados por uma ligação dupla.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

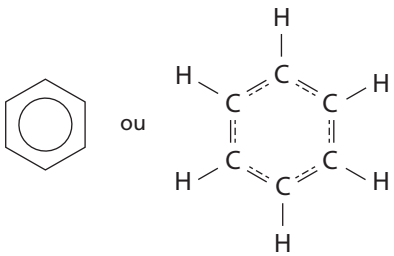
Entretanto, as análises químicas disponíveis na época mostravam que existia um único produto formado nessa substituição. Para tentar explicar essa contradição, Kekulé propôs que as duas formas de benzeno (e de seus derivados) coexistiam em um estado dinâmico de equilíbrio, e a conversão de uma forma para a outra ocorria tão rapidamente que era impossível isolar os compostos diferentes.



Representação do equilíbrio dinâmico entre as duas formas dos derivados de benzeno, proposto por Kekulé.

Foi somente a partir da década de 1920, com o advento da Mecânica Quântica, que a interpretação atualmente aceita para a existência de um único produto da substituição do benzeno se desenvolveu. Segundo a **teoria da ligação de valência**, as ligações duplas são formadas por uma ligação do tipo sigma (σ) e uma ligação do tipo pi (π). Na ligação σ, ocorre a superposição dos orbitais atômicos ao longo do eixo internuclear, de forma que a densidade eletrônica é cilindricamente simétrica. Na ligação π, ocorre a superposição lado a lado dos orbitais atômicos, de forma que a densidade eletrônica se concentra acima e abaixo do eixo internuclear. De acordo com o modelo quântico, as ligações duplas alternadas do anel do benzeno permitem que elétrons das ligações π sejam compartilhados entre vários núcleos e, por isso, são denominados **elétrons deslocalizados**. Tal deslocalização eletrônica pode ser empregada para explicar algumas características moleculares típicas apresentadas por hidrocarbonetos aromáticos, como maior estabilidade termodinâmica em comparação aos correspondentes hidrocarbonetos de cadeia fechada e não aromática.

Geralmente, ligações simples e ligações duplas apresentam energias e comprimentos diferentes. No entanto, medidas experimentais indicam que todas as ligações entre os átomos de carbono da molécula de benzeno apresentam a mesma energia e comprimento, sendo, portanto, equivalentes. Isso mostra que, diferentemente da proposta de Kekulé, não existem duas formas diferentes da molécula em equilíbrio, mas sim uma estrutura híbrida, ou seja, uma estrutura intermediária entre as duas formas propostas para a molécula de benzeno. Assim, a representação do anel benzênico pode ser feita de diferentes maneiras. Por exemplo, por meio de um círculo inscrito em um hexágono, que indica a **estrutura híbrida** do benzeno, e por meio de linhas tracejadas envolvendo todos os átomos de carbono no lugar das ligações π alternadas, indicando a deslocalização dos elétrons.



Representações para o benzeno que enfatizam sua aromaticidade.

É preciso lembrar, entretanto, que tais técnicas de medida, bem como a teoria quântica, não existiam na época de Kekulé e que seu modelo se mostrou suficiente para explicar a maioria dos fenômenos conhecidos para o benzeno até então.

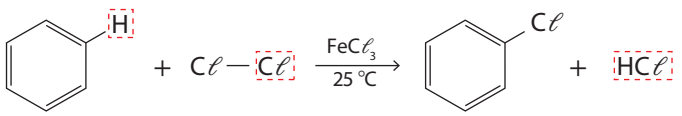
Como aprendemos, as reações de substituição são aquelas em que um átomo ou um grupo de átomos de uma molécula é substituído por outro átomo ou grupo de átomos proveniente de uma molécula diferente. Nos compostos aromáticos, esse tipo de reação não ocorre pelo mesmo mecanismo estudado para os hidrocarbonetos saturados de cadeia aberta, em razão da densidade eletrônica do anel. No caso dos aromáticos, trata-se de uma **substituição eletrofílica**.

Nesta obra, vamos dar preferência para a representação que explicita as ligações duplas, principalmente nas discussões sobre reações químicas.

Indique que a terminação *-fílica* tem origem na palavra grega *phylos*, que pode ser traduzida para o português como "afinidade".

Halogenação

Nessa reação, um dos átomos de hidrogênio do anel benzênico – qualquer um dos seis presentes na molécula – é substituído por um átomo de cloro (Cℓ) ou bromo (Br) na presença de um catalisador. Os catalisadores comumente utilizados são o cloreto de alumínio (AℓCℓ_3) ou o cloreto de ferro(III) (FeCℓ_3) para reações com gás cloro (Cℓ_2), e o brometo de ferro(III) ($FeBr_3$) para reações com bromo (Br_2).



Benzeno — Gás cloro — Clorobenzeno — Cloreto de hidrogênio

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A fluoração e a iodação não costumam ser realizadas por esse mecanismo, pois o flúor é muito reativo, o que torna a reação difícil de controlar, e, com o iodo, a reação, além de ser muito lenta, tem um rendimento baixo.

Compostos que apresentam átomos de halogênios ligados a um anel aromático são classificados como **haletos de arila**. Na nomenclatura desses compostos, o halogênio pode ser indicado como um grupo substituinte, ou seja, antes do nome do anel aromático, como em clorobenzeno ($C_6H_5C\ell$). Esse produto da cloração do benzeno também pode ser nomeado como cloreto de fenila, dado pela indicação do nome do haleto seguido da preposição "de" e do nome do grupo orgânico, nesse caso, o grupo fenil, acompanhado da terminação "a".

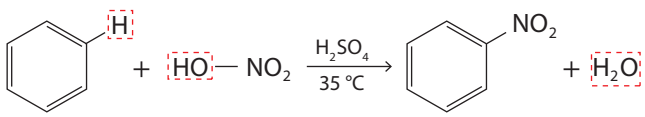
Outras substituições eletrofílicas aromáticas

Após termos analisado o mecanismo geral, precisamos apenas identificar o reagente eletrófilo – aquele que recebe elétrons – específico para conhecer as outras possibilidades de reações de substituição eletrofílica aromática. Acompanhe alguns exemplos.

Nitração

O nitrobenzeno é uma das matérias-primas utilizadas na fabricação do fármaco paracetamol. Compostos que apresentam ao menos um grupo nitro (—NO_2) ligado diretamente a um átomo de carbono são classificados como **nitrocompostos**. Essas substâncias são nomeadas indicando o grupo nitro como um grupo substituinte, ou seja, antes do nome do hidrocarboneto, como em nitrobenzeno ($C_6H_5NO_2$). A síntese de composto pode ser representada pela seguinte equação química, catalisada por ácido sulfúrico (H_2SO_4).

Explique aos estudantes que a representação do ácido nítrico na reação de nitração foi feita com base na fórmula estrutural para evidenciar a presença do grupo substituinte nas moléculas dessa substância.



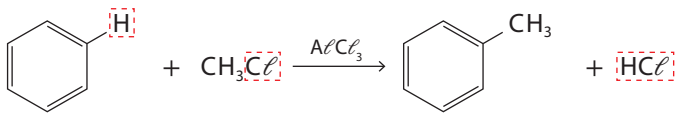
Benzeno — Ácido nítrico — Nitrobenzeno — Água

Alquilação e acilação de Friedel-Crafts

Essas reações foram desenvolvidas e patenteadas, em 1877, por dois químicos, o francês Charles Friedel (1832-1899) e o estadunidense James M. Crafts (1839-1917).

Se julgar conveniente, discuta com os estudantes as implicações de patentear um processo ou uma substância.

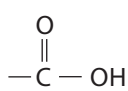
Em determinadas concentrações, o benzeno é um composto tóxico; por isso, busca-se substituí-lo em processos industriais e de laboratório. Um dos possíveis substitutos para o benzeno é o tolueno (metilbenzeno), um composto com características físico-químicas semelhantes. Ainda tóxico, porém menos que o benzeno, o tolueno pode ser sintetizado por meio da alquilação de Friedel-Crafts.



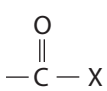
Benzeno — Cloreto de metila (haleto de alquila) — Tolueno — Cloreto de hidrogênio

Note que, para construir o nome sistemático de compostos monocíclicos derivados do benzeno com apenas um grupo substituinte, escreve-se o nome do substituinte seguido da palavra "benzeno", como em metilbenzeno, que apresenta o grupo metil (—CH_3) ligado à cadeia principal da molécula.

Enquanto os haletos de alquila e arila são derivados halogenados dos hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos, respectivamente, os **haletos de acila** são derivados halogenados dos ácidos carboxílicos.



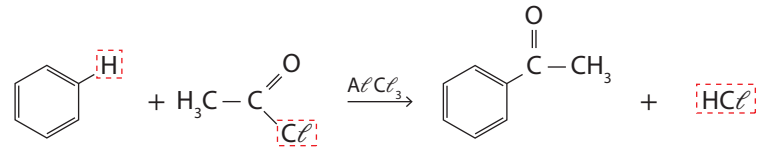
Grupo funcional dos ácidos carboxílicos



Grupo funcional dos haletos de acila, em que X representa F, Cℓ, Br ou I

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A acilação do benzeno (e de seus derivados) é uma forma de obter **cetonas** aromáticas. Uma das maneiras de nomear as cetonas consiste em indicar a classe funcional "cetona" seguida dos nomes dos grupos alquila ou arila ligados à carbonila (C = O), em ordem alfabética, como no caso da cetona fenílica e metílica (acetofenona), um importante solvente utilizado na indústria de perfumes.



Benzeno — Cloreto de acetila (haleto de acila) — Cetona fenílica e metílica — Cloreto de hidrogênio

O cloreto de acetila, ou cloreto de etanoíla ($C_2H_3C\ell O$), é um exemplo de haleto de acila derivado do ácido acético, ou ácido etanoico (CH_3COOH). A nomenclatura dessa classe funcional é dada pela indicação do nome do haleto seguido da preposição "de" e do nome do ácido carboxílico correspondente, substituindo-se o sufixo "-oico", característico dos ácidos carboxílicos, por "-oíla".

Teoria ácido-base de Lewis

Os catalisadores empregados nas halogenações e nas substituições de Friedel-Crafts, como o cloreto de alumínio ($A\ell C\ell_3$) e o cloreto de ferro(III) ($FeC\ell_3$), são sais inorgânicos que atuam como **ácidos de Lewis** nessas reações. Eles interagem com o reagente que não apresenta o anel benzênico, aumentando seu caráter eletrofílico, o que acelera as reações. Existem diversas teorias ácido-base que diferem, entre outros aspectos, no nível de abrangência. Por exemplo, a teoria proposta pelo químico sueco Svante August Arrhenius (1859-1927), no final do século XIX, é restrita a soluções aquosas e, portanto, pouco adequada para explicar as reações envolvendo compostos orgânicos pouco polares ou apolares, como os haletos de alquila, haletos de arila e alquilbenzenos, em que a água, por ser polar, não é um solvente que pode ser utilizado.

No início da década de 1920, a discussão sobre caráter ácido-base era recorrente na comunidade científica, tanto que várias teorias surgiram de forma simultânea e independente. Uma delas foi elaborada pelo físico-químico estadunidense Gilbert Newton Lewis (1875-1946), na qual se propôs que apresentam caráter ácido as espécies químicas que recebem um par de elétrons na reação e caráter básico as que doam o par de elétrons. Nas alquilações de Friedel-Crafts, por exemplo, o íon alumínio no cloreto de alumínio recebe um par de elétrons do halogênio no haleto de alquila. Assim, na etapa de ativação, o haleto de alquila é uma base de Lewis e o cloreto de alumínio, um ácido de Lewis.

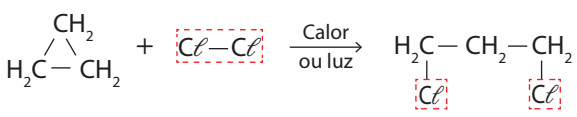
Essa definição de caráter ácido-base é condizente com a relação que Lewis estabeleceu entre a distribuição eletrônica e as propriedades das substâncias, além de muito abrangente, pois independe da presença de alguma estrutura química em específico.

A polaridade das moléculas é estudada no capítulo 2. Vale ressaltar que as diferentes teorias ácido-base são válidas e úteis em diferentes contextos no estudo da Química. Complemente que todo ácido de Arrhenius é também um ácido de Lewis, mas o contrário não se verifica com todas as substâncias.

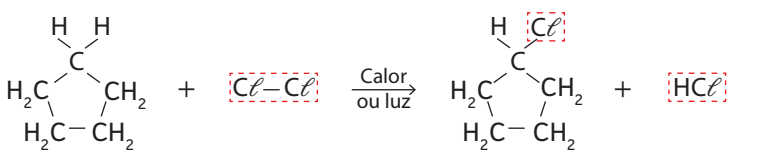
Verifique se os estudantes compreendem que neste contexto doar um par de elétrons pode levar à formação de um intermediário iônico do tipo carbocátion ou de um complexo, dependendo da estrutura química da base de Lewis. O modelo de Lewis para a estrutura da matéria é estudado no capítulo 1.

Comparando reações de adição e substituição

Vamos comparar as halogenações de dois hidrocarbonetos cíclicos saturados, classe de compostos orgânicos também conhecida como **cicloalcanos**.



Ciclopropano — Gás cloro — 1,3-dicloropropano

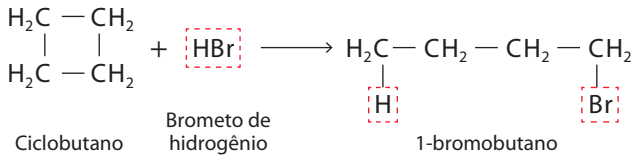


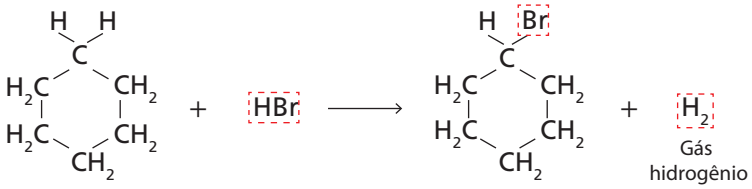
Ciclopentano — Clorociclopentano — Cloreto de hidrogênio

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Note que, sob as mesmas condições, o ciclopropano participa de uma reação de adição em que ocorre ruptura do anel, enquanto o ciclopentano faz reação de substituição.

Agora, vamos analisar o comportamento de outros dois cicloalcanos no processo de hidro-halogenação com ácidos concentrados.





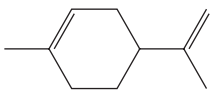
Ao abordar as reações de adição e de substituição, forneça exemplos de compostos alicíclicos com diferentes números de átomos de carbono e discuta os diversos aspectos relacionados à reatividade química e aos tipos de reação que ocorrerão preferencialmente.

Nas mesmas condições reacionais, o ciclobutano participa de uma reação de adição em que ocorre ruptura do anel, enquanto o ciclo-hexano faz uma reação de substituição.

Como podemos explicar as diferenças observadas na reatividade dos cicloalcanos?

Estabilidade de cicloalcanos

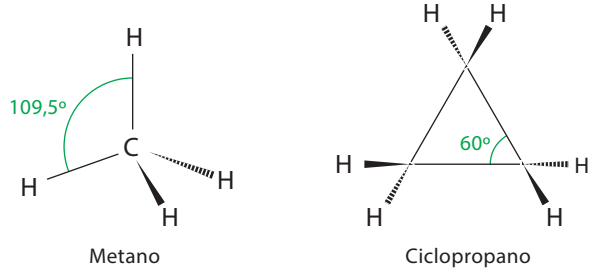
Alguns hidrocarbonetos alicíclicos são comumente encontrados na natureza. O limoneno, por exemplo, pode ser obtido de óleos essenciais extraídos da casca de frutas cítricas, sobretudo da laranja e do limão.



O 4-isoprenil-1-metilciclo-hexeno, nome sistemático do limoneno, é utilizado como precursor de substâncias empregadas na indústria alimentícia e na fabricação de produtos para higiene.

De maneira geral, hidrocarbonetos alicíclicos com cadeia formada por cinco ou seis átomos de carbono, como na cadeia principal do limoneno, são mais estáveis que os formados por três ou quatro átomos de carbono. Portanto, os primeiros são mais frequentemente encontrados na natureza.

Esse fato, além dos mecanismos de reação diferentes anteriormente apresentados, é em parte explicado pela **teoria das tensões de Baeyer**, desenvolvida pelo químico alemão Johann Friedrich Adolf von Baeyer (1835-1917). Ele relacionou a reatividade de diversos cicloalcanos com os ângulos teóricos das ligações entre os átomos de carbono nesses compostos e concluiu que, quanto maior fosse a diferença entre esses ângulos e o ângulo de aproximadamente 109,5°, menos estável seria o cicloalcano. O valor de referência (109,5°) é o calculado para o ângulo de ligação em moléculas com geometria tetraédrica, como o metano (CH_4). No ciclopropano, por exemplo, o anel constituído de ligações entre três átomos de carbono tem a forma de um triângulo equilátero, com ângulos internos de ligação de 60°. A diferença entre os valores revela um desvio angular de 49,5° e mostra que há uma elevada tensão do anel no ciclopropano, o que faz aumentar a tendência de ruptura do anel, eliminando a tensão angular e estabilizando a molécula.



Comente que, embora sua teoria de que os cicloalcanos seriam planares estivesse incorreta, Baeyer proporcionou grandes avanços na química dos corantes orgânicos, como o índigo, tendo, inclusive, recebido o Prêmio Nobel de Química, em 1905, por suas contribuições nessa área.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Em sua teoria, Baeyer supunha que a reatividade do ciclo-hexano fosse alta, pois considerava que os cicloalcanos eram planos. Assim, as moléculas dessa substância teriam a forma de um hexágono regular com ângulos internos de 120° nas ligações entre os átomos de carbono, resultando em um desvio angular de 10,5°.

A tabela a seguir compara os valores de energia liberada na combustão dos cinco primeiros membros da série homóloga dos cicloalcanos. Uma **série homóloga** é aquela em que os compostos diferem por um grupo metileno (—CH_2—).

Entalpias-padrão de combustão ($-\Delta H°$) de grupos CH_2 em cicloalcanos

Nome (número de grupos CH_2)	Entalpia de combustão por grupo CH_2 (kJ mol^{-1})
Ciclopropano (3)	166,6
Ciclobutano (4)	162,7
Ciclopentano (5)	157,3
Ciclo-hexano (6)	156,0
Ciclo-heptano (7)	157,0

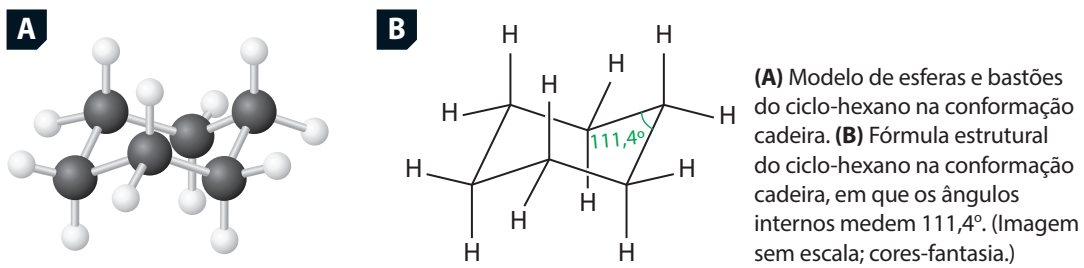
Fonte: elaborado com base em CAREY, F. **Química Orgânica**. Tradução: Kátia A. Roque, Jane de Moura Menezes e Telma Regina Matheus. 7. ed. Porto Alegre: AMGH, 2011. v. 1.

Valores de entalpias-padrão de combustão de grupos CH_2 em cicloalcanos.

Combustíveis mais estáveis liberam menos energia durante a combustão. Logo, entre os cicloalcanos, o ciclo-hexano é o composto com estrutura mais estável energeticamente. O desvio entre as propriedades previstas pela teoria de Baeyer e as propriedades verificadas experimentalmente pôde ser explicado considerando que, exceto pelo ciclopropano, os cicloalcanos não são planares.

A livre rotação ao redor das ligações simples faz com que as moléculas de ciclo-hexano e seus derivados adquiram diferentes arranjos espaciais, denominados **conformações de cadeia**. Algumas dessas conformações na molécula de ciclo-hexano fazem com que os ângulos de ligação entre os átomos de carbono estejam próximos de 109,5°. Com isso, as tensões no anel são minimizadas. Sua conformação mais estável é denominada **conformação cadeira** e está associada à baixa tensão angular, entre outros fatores. Acompanhe a representação a seguir.

Enfatize que existem outras conformações possíveis. Inclusive, se julgar conveniente, você pode demonstrar, por exemplo, a conformação barco, comparando-a com a conformação cadeira do ponto de vista energético e do afastamento dos átomos de hidrogênio.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

(A) Modelo de esferas e bastões do ciclo-hexano na conformação cadeira. **(B)** Fórmula estrutural do ciclo-hexano na conformação cadeira, em que os ângulos internos medem 111,4°. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

1. O 2-bromopropano pode ser obtido por dois caminhos:

a. reação do propano com bromo;

b. reação do propeno com brometo de hidrogênio.

Escreva as equações químicas dessas reações e indique para cada reação se ela é de adição ou de substituição.

2. Faça o que se pede.

a. Escreva as reações do ciclobutano com hidrogênio e com cloro e dê o nome dos produtos formados.

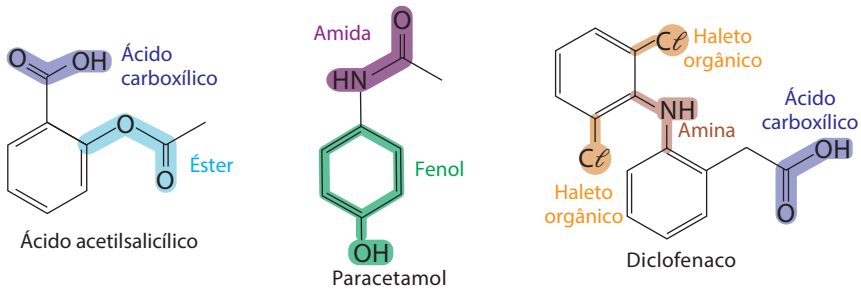
b. Essas reações, nas mesmas condições de temperatura e de concentração, são mais rápidas ou mais lentas que as do ciclopropano?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Analgésicos

A Câmara de Regulação do Mercado de Medicamentos (CMED), órgão vinculado à Anvisa, informa que o comércio de medicamentos no Brasil movimentou mais de R$ 131 bilhões em 2022 e que, dos dez medicamentos mais vendidos, três são formulados com analgésicos.

Os analgésicos menos potentes e com curto tempo de ação no organismo, destinados ao tratamento de dores leves ou moderadas, podem ser adquiridos sem necessidade de receita médica. Eles apresentam estruturas químicas diversificadas, como é o caso do ácido acetilsalicílico ($C_9H_8O_4$), do paracetamol ($C_8H_9NO_2$) e do diclofenaco ($C_{14}H_{11}C\ell_2NO_2$), fármacos que também têm ação antipirética, ou antitérmica, e anti-inflamatória localizada.

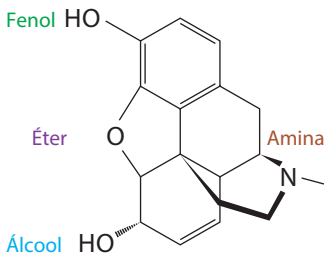


Já os analgésicos presentes no ópio, extrato natural obtido da papoula-do-oriente (*Papaver somniferum*), têm ação mais potente e podem ser utilizados para o alívio das dores mais intensas e debilitantes, como as que ocorrem em pacientes oncológicos ou em pessoas que sofreram queimaduras severas. Como o uso indiscriminado dessas substâncias pode levar à dependência, medicamentos contendo esses princípios ativos só podem ser adquiridos com prescrição médica. Independentemente da necessidade de receita médica ou não, a automedicação é uma prática que deve ser evitada.

Morfina e heroína

Os álcoois e os éteres são estudados no capítulo 8. Ressalte que, na época da síntese da heroína, a exigência de que a segurança de um medicamento fosse comprovada por meio de testes rigorosos antes de sua comercialização ainda não havia sido efetivamente implementada.

A morfina ($C_{17}H_{19}NO_3$) foi o primeiro alcaloide isolado do ópio, o que ocorreu no início do século XIX. O autor do estudo, o farmacêutico alemão Friedrich W. Adam Sertürner (1783-1841), nomeou a substância em referência ao deus grego do sono Morfeu, em virtude de suas propriedades sedativas. A estrutura química da morfina é bastante complexa, tanto que ela só foi comprovada há cerca de 150 anos, após o isolamento da substância. Trata-se de um composto policíclico em que nem todos os ciclos são coplanares como acontece nos HPA.



Como muito antes da definição exata da estrutura da morfina já se conheciam as funções químicas presentes, as primeiras relações estrutura-atividade biológica desse fármaco puderam ser estabelecidas ainda no século XIX. Esses estudos incentivaram químicos e farmacêuticos a pesquisar a obtenção de derivados da morfina tão potentes quanto ela, mas com menor propensão a desenvolver dependência. É nesse contexto que surge a heroína, no fim do século XIX. Com base na acetilação do ácido salicílico, que levou à síntese de um medicamento – o ácido acetilsalicílico com melhor absorção e menos efeitos colaterais que o produto natural –, os pesquisadores de uma indústria farmacêutica alemã promoveram a acetilação da morfina, obtendo a heroína, que é um analgésico mais eficiente. Entretanto, anos após o início de sua comercialização, comprovou-se que a heroína poderia causar uma dependência maior do que a morfina.

Comente que, de forma similar ao caso da heroína, as moléculas de AAS são desacetiladas após absorção pela mucosa digestiva, convertendo-se novamente no ácido salicílico, que é a substância ativa. O ácido salicílico pode ser extraído da casca do salgueiro-branco (*Salix alba*) ou das folhas da ulmária (*Spiraea ulmaria*).

A substituição dos grupos hidroxila (—OH) da morfina pelos grupos acetil torna as moléculas de heroína mais eficientes em atravessar a barreira hematoencefálica, estrutura celular que impede ou dificulta a livre passagem de substâncias do sangue para o sistema nervoso central. Após atravessar essa barreira, as moléculas de heroína são desacetiladas, convertendo-se novamente em morfina. Assim, comparativamente, mais moléculas da substância ativa chegam ao cérebro, com uma dose menor de medicamento.

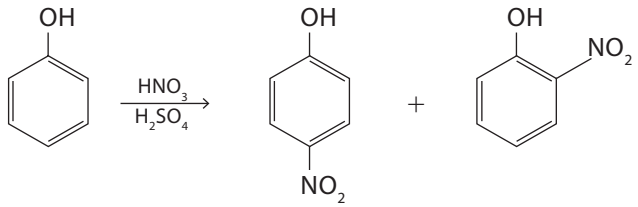
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Paracetamol

A obtenção do paracetamol, ou acetaminofeno, data do fim do século XIX. Sua síntese é realizada em uma sequência de três etapas, a partir do fenol (C_6H_5OH).

- Etapa 1: **nitração** do fenol, substância caracterizada pela presença do grupo hidroxila (—OH) diretamente ligado ao anel benzênico. São obtidos dois compostos isômeros de fórmula molecular $C_6H_5NO_3$ com rendimentos muito próximos.

Os isômeros constitucionais são estudados no capítulo 15.

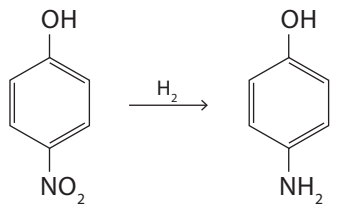


Fenol — 4-nitrofenol (*p*-nitrofenol) — 2-nitrofenol (*o*-nitrofenol)

Ressalte que esses esquemas, muito utilizados em Química Orgânica, mostram as etapas e algumas substâncias envolvidas nos processos químicos, mas sem necessariamente respeitar as relações estequiométricas. Ajude os estudantes a interpretá-los, solicitando que escrevam as equações químicas correspondentes.

Note que, para nomear os compostos derivados do fenol, escreve-se a localização e o nome do grupo substituinte seguido do nome da classe funcional "fenol". Nesses casos, a posição 1 no anel benzênico é aquela em que o grupo hidroxila está ligado. Quando dois substituintes estão presentes no anel benzênico, uma alternativa à nomenclatura sistemática é utilizar, no lugar dos localizadores numéricos, os prefixos orto (*o*), meta (*m*) e para (*p*).

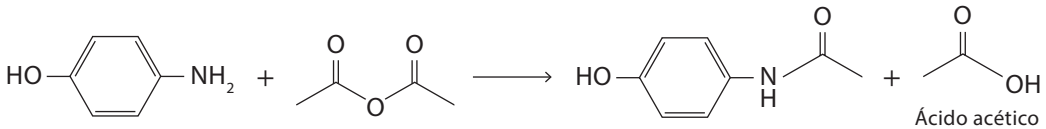
- Etapa 2: após a separação dos isômeros, faz-se a **redução** do 4-nitrofenol por meio da reação com o gás hidrogênio (H_2). Os produtos dessa reação são o 4-aminofenol (C_6H_7NO) e a água.



4-nitrofenol (*p*-nitrofenol) — 4-aminofenol (*p*-aminofenol)

- Etapa 3: **acilação**, para substituição de um dos átomos de hidrogênio do grupo amino (—NH_2) por um grupo acetil, utilizando o anidrido acético ($C_4H_6O_3$).

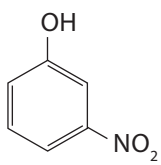
Retome a acilação de Friedel-Crafts e comente que ela também pode ser realizada com um anidrido no lugar do cloreto de acila; entretanto, os anidridos são menos reativos.



4-aminofenol — Anidrido acético — Paracetamol — Ácido acético

Reações de substituição eletrofílica em derivados do benzeno

Você pode estar se perguntando por que, na etapa 1, o isômero 3-nitrofenol não foi indicado, uma vez que, teoricamente, o grupo nitro (—NO_2) poderia substituir um átomo de hidrogênio em qualquer posição do anel aromático.



3-nitrofenol (*m*-nitrofenol)

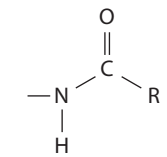
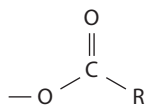
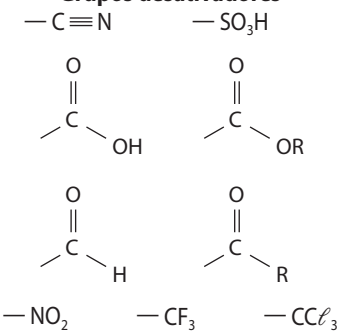
A presença de um grupo substituinte no anel benzênico, como o grupo hidroxila no fenol, muda a distribuição da densidade eletrônica na molécula, facilitando a substituição em determinadas posições do anel aromático.

Átomos, ou grupo de átomos, que tornem o anel mais reativo do que o benzeno são denominados **grupos ativadores**, ou seja, grupos que tornam a reação de substituição em compostos aromáticos mais rápida. Em contrapartida, átomos, ou grupo de átomos, que tornem o anel menos reativo do que o benzeno são denominados **grupos desativadores**, ou seja, grupos que tornam a reação de substituição em compostos aromáticos mais lenta.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Além de alterar a rapidez da reação, a presença de substituintes no anel benzênico também afeta a posição em que um átomo, ou grupo de átomos, substituirá um hidrogênio do anel durante a reação. Ou seja, os substituintes podem favorecer a ocorrência da reação em átomos de carbono *orto* e *para*, posições 2 e 4, respectivamente, em relação à sua posição no anel. Nesses casos, eles são denominados **orientadores *orto-para***. Podem, ainda, favorecer a reação em átomos de carbono *meta*, posição 3 em relação à sua posição no anel, e, nesses casos, são denominados **orientadores** *meta*. O quadro a seguir reúne os grupos ativadores e desativadores mais comuns, indicando o efeito desses grupos na orientação das substituições.

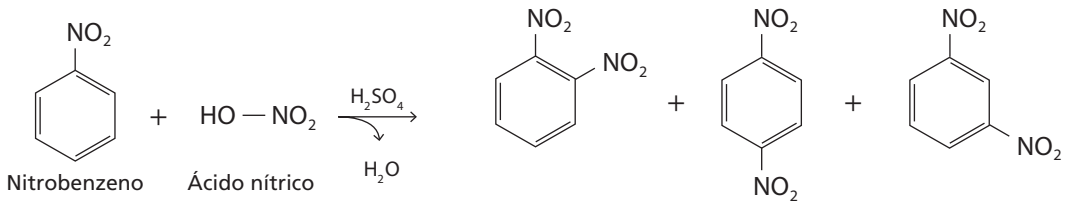
Efeito dos substituintes nas reações de substituição eletrofílica aromática

Orientadores *orto-para*	Orientadores *meta*
Grupos ativadores $-CH_3$, $-CH_2-CH_3$, $-NH_2$, $-OH$, $-OR$,   **Grupos moderadamente desativadores** $-F$, $-C\ell$, $-Br$, $-I$	**Grupos desativadores**  $-NO_2$ $-CF_3$ $-CC\ell_3$

A letra R foi utilizada para indicar um grupo orgânico qualquer. Assim, na síntese do paracetamol, uma das razões para a obtenção pouco significativa do isômero 3-nitrofenol na etapa 1 deve-se ao fato de o substituinte do anel benzênico, a hidroxila, ser um orientador *orto-para*.

Suponha, por exemplo, que se pretenda produzir, em escala industrial, o 1,3-dinitrobenzeno (ou *m*-dinitrobenzeno) por meio da nitração do nitrobenzeno. Essa síntese é viável? Para responder a essa questão, deve-se analisar o substituinte presente no anel benzênico do reagente: o grupo nitro ($-NO_2$). De acordo com o quadro anterior, o grupo nitro é um desativador do anel e um orientador *meta*. Assim, espera-se que a nitração do nitrobenzeno ocorra de forma mais lenta que a nitração do benzeno e que o produto majoritário da reação seja o 1,3-dinitrobenzeno.

Essa reação é dez mil vezes mais lenta que a nitração do benzeno e 93% da substituição ocorre na posição *meta*, como previsto.



Nitrobenzeno — Ácido nítrico

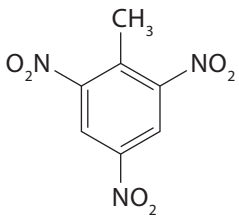
6% 1,2-dinitrobenzeno — 1% 1,4-dinitrobenzeno — 93% 1,3-dinitrobenzeno

Fonte: SOLOMONS, T. W. G.; FRYHLE, C. B. **Organic Chemistry**. 10th ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2011.

ATIVIDADE COMENTADA

Considere a síntese do composto 2,4,6-trinitrotolueno, conhecido pela sigla TNT, um poderoso explosivo, originado do benzeno.

As reações envolvidas nessa síntese são de alquilação de Friedel-Crafts e nitração. Qual das reações deve ocorrer primeiro? Justifique mostrando as etapas dessa síntese.



2,4,6-trinitrotolueno

Continua

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Analisar o enunciado

Deseja-se saber qual reação deve ocorrer primeiro: alquilação ou nitração.

Selecionar as informações relevantes

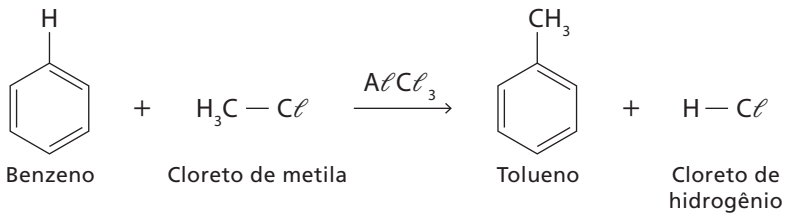
Temos as seguintes informações:

- A alquilação consiste na adição de um grupo alquila, que, nesse contexto, consista no grupo metil (—CH_3).
- A nitração consiste na adição do grupo nitro (—NO_2).
- O grupo metil é um orientador *orto-para*.
- O grupo nitro é um orientador *meta*.

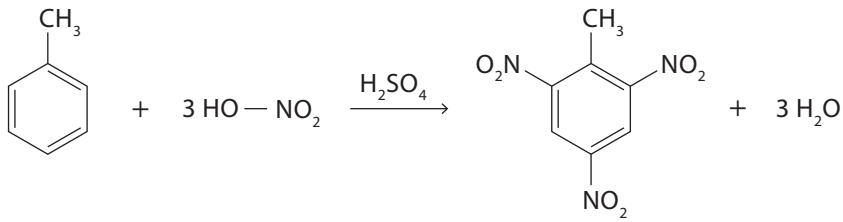
Aplicar o conceito estudado

O grupo metil é um orientador *orto-para*, ou seja, ele favorece a síntese de isômeros de anéis aromáticos dissubstituídos do tipo *orto* e *para*. Já o grupo nitro é orientador *meta*, ou seja, favorece a síntese de isômeros do tipo *meta*.

Como o TNT apresenta os grupos nitro nas posições *orto* e *para*, deve ocorrer a alquilação primeiro.



Benzeno — Cloreto de metila — Toluene — Cloreto de hidrogênio



Tolueno — Ácido nítrico — 2,4,6-trinitrotolueno (TNT) — Água

Verificar a solução

Analisando o produto obtido, percebe-se que é necessário realizar primeiramente a alquilação, pois o grupo metil adicionado é orientador *orto-para*. Após, a nitração adiciona os grupos nitro nas posições *orto* e *para*, finalizando a síntese do TNT.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Registre em seu caderno

EM FOCO Penicilinas

ODS 3

Os primeiros antibióticos propriamente ditos, da família da penicilina, ainda hoje são de uso generalizado. Em 1877, Louis Pasteur foi o primeiro a demonstrar que se podia usar um micro-organismo para matar outro. [...] Mais tarde, Joseph Lister, após convencer o mundo da Medicina do valor do fenol como antisséptico, investigou as propriedades dos mofos, tendo supostamente curado um abscesso persistente de um de seus pacientes com compressas embebidas num extrato do fungo *Penicillium*.

Apesar desses resultados positivos, novas investigações das propriedades curativas dos mofos foram esporádicas até 1928, quando um médico escocês chamado Alexander Fleming [...] descobriu que um fungo da família *Penicillium* havia contaminado culturas das bactérias estafilococos que estudava. [...] Fleming ficou intrigado o bastante para empreender novos experimentos sobre o tema. Supôs que algum composto produzido pelo mofo era responsável pelo efeito antibiótico

Continua

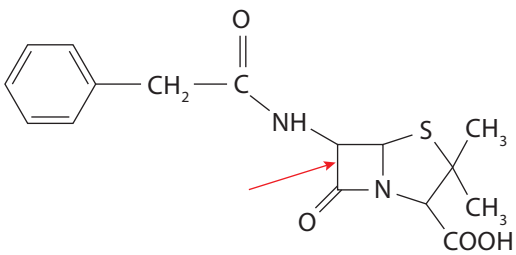
Continuação

sobre as bactérias estafilococos, e seus experimentos confirmaram isso. Em testes de laboratório, um caldo filtrado, feito com amostras [...] de *Penicillium notatum*, mostrou-se incrivelmente eficaz contra estafilococos cultivados em recipientes de vidro. [...] Além do mais, camundongos injetados com a substância – que Fleming passara a chamar de penicilina – não demonstravam sofrer nenhum efeito tóxico. [...]

A penicilina não foi submetida a testes clínicos por mais de uma década, tempo em que as sulfanilamidas se tornaram a mais importante arma contra infecções bacterianas. Em 1939 o sucesso das sulfas estimulou um grupo de químicos, microbiólogos e médicos na Universidade de Oxford a trabalhar num método para produzir e isolar penicilina. O primeiro teste clínico com a substância em estado natural foi feito em 1941. [...] Na terceira tentativa, contudo, fora produzida penicilina suficiente para eliminar por completo uma infecção estreptocócica de um menino de 15 anos. Depois desse sucesso a penicilina curou a septicemia estafilocócica numa outra criança, e o grupo de Oxford ficou certo de ter uma substância vitoriosa nas mãos. [...]

Nessa época a estrutura química da penicilina ainda não era conhecida, sendo, portanto, impossível fabricá-la sinteticamente. Continuava necessário extraí-la de fungos [...].

Finalmente, em 1946, a estrutura do antibiótico foi determinada, embora só se tenha conseguido sintetizá-lo em 1957.



Fórmula estrutural da molécula de penicilina G. A seta indica o anel β-lactâmico de quatro membros.

A estrutura da penicilina pode não ser tão grande nem parecer tão complicada como a de outras moléculas que analisamos, mas, para os químicos, trata-se de uma molécula extremamente inusitada, porque contém um anel de quatro membros, conhecido nesse caso como o anel β-lactâmico.

[...]

Em compostos orgânicos, um anel de quatro membros não é plano; curva-se ligeiramente, mas nem isso pode reduzir o que os químicos chamam de tensão do anel, uma instabilidade que resulta sobretudo do fato de que os átomos são forçados a ter ângulos de ligação diferentes demais. Mas é precisamente essa instabilidade do anel de quatro membros que explica a atividade antibiótica das moléculas de penicilina. As bactérias produzem uma enzima essencial para formação de suas paredes celulares. Na presença dessa enzima, o anel beta-lactâmico da molécula de penicilina se abre, reduzindo a tensão do anel. [...]

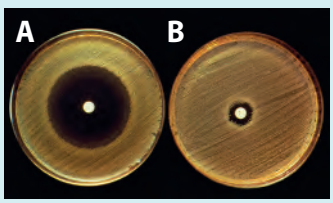
Essa acilação desativa a enzima que forma as paredes celulares. Sem poder construí-las, as novas bactérias não conseguem crescer num organismo. As células animais têm uma membrana celular, e não uma parede celular, e por isso não possuem a mesma enzima formadora de paredes que essas bactérias. Em consequência, não somos afetados pela reação de acilação com a molécula de penicilina.

Fonte: BURRESON, J.; LE COUTEUR, P.; PENNY, M. **Os botões de Napoleão**: as 17 moléculas que mudaram a história. Rio de Janeiro: Zahar, 2006.

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. A bactéria *Staphylococcus aureus* é um patógeno que comumente causa infecções na pele dos seres humanos, embora infecções mais graves como meningite e pneumonia possam ocorrer. Na imagem, há placas de Petri com duas linhagens da bactéria *Staphylococcus aureus*, **(A)** e **(B)**, e, ao centro, o antibiótico penicilina (círculo branco).

Qual das linhagens bacterianas demonstra-se mais resistente à ação da penicilina? Justifique sua resposta.



JOHN DURHAM/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARE

Teste de resistência de bactérias à penicilina.

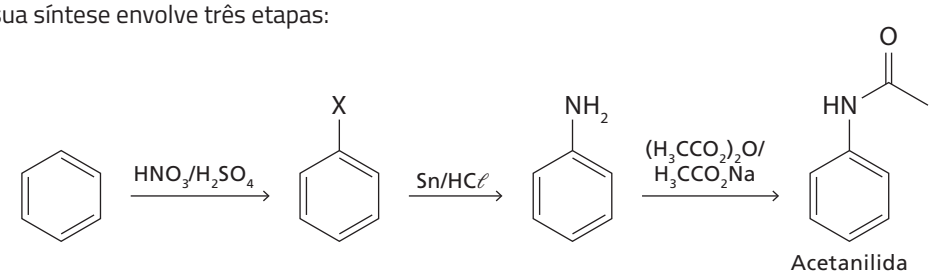
2. Com base na teoria das tensões de Baeyer e com informações contidas no excerto do livro **Os botões de Napoleão**, é possível afirmar que os ângulos de ligação do anel de quatro membros da penicilina é de 90°? Justifique sua resposta.

3. De que maneira as adaptações biológicas das bactérias à ação da penicilina estão relacionadas à resistência bacteriana aos antibióticos e à necessidade de desenvolver novas drogas antibacterianas?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Aplique e registre Respostas e subsídios no Suplemento para o professor. Registre em seu caderno

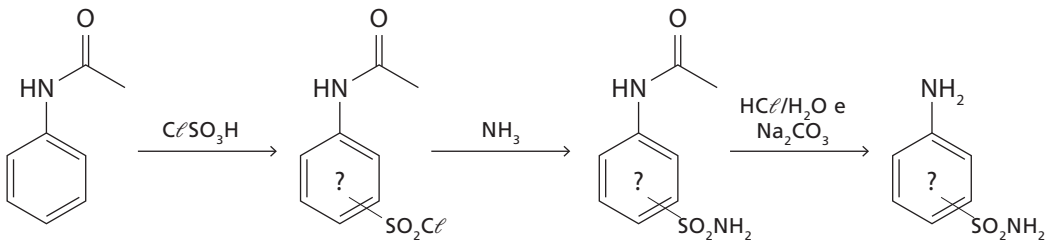
3. A acetanilida, sintetizada pela primeira vez em 1886, é um analgésico que foi produzido com o objetivo de substituir a morfina. A sua síntese envolve três etapas:



Acetanilida

a. Com base nas reações, escreva a estrutura do composto produzido na primeira etapa e o nome dessa reação.

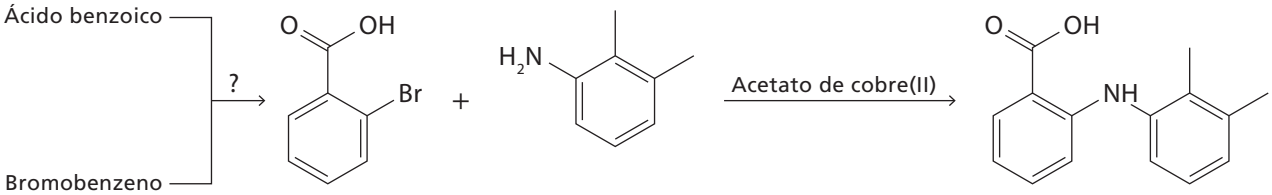
b. A sulfanilamida é um antibiótico, sendo amplamente utilizada no tratamento de infecções do trato urinário. A reação de síntese da sulfanilamida a partir da acetanilida é descrita de acordo com a equação a seguir, na qual foram inseridos pontos de interrogação nas estruturas indicando dúvida em relação à posição do substituinte no anel benzênico.



Sulfanilamida

Em relação ao esquema anterior, o grupo SO_2NH_2 está na posição *meta* ou *para* com relação ao grupo amino? Justifique a sua resposta.

4. O ácido mefenâmico é um anti-inflamatório que combate a dor e é indicado para o alívio dos sintomas de artrite reumatoide, lesão das articulações, dor no pós-operatório ou pós-parto, cólica menstrual e síndrome pré-menstrual. O esquema de síntese deste composto está representado a seguir.



Reagente de partida

Ácido mefenâmico

Qual das moléculas, ácido benzoico ou bromobenzeno, deve ser utilizada na síntese do reagente de partida? Explique a sua resposta.

Bebidas alcoólicas

Comente que cada tipo de bebida alcoólica tem um teor de etanol diferente; por isso, as doses têm volumes diferentes.

O consumo abusivo de bebidas alcoólicas é um problema de saúde pública que atinge 18,8% da população brasileira com mais de 18 anos, segundo dados de 2019 do Ministério da Saúde. Entre os homens, essa taxa é 12 pontos percentuais superior à observada entre as mulheres. Nesse levantamento, o Ministério da Saúde considerou abusivo o consumo de cinco ou mais doses de bebidas alcoólicas pelos homens e quatro ou mais doses pelas mulheres, em uma mesma ocasião, pelo menos uma única vez em um período de trinta dias. A dose estipulada corresponde a uma lata de cerveja (350 mL), uma taça de vinho (90 mL) ou um cálice de bebidas destiladas (35 mL).

A presença de etanol (C_2H_5OH) em todas as bebidas alcoólicas é resultado de transformações químicas dos glicídios, como a glicose ($C_6H_{12}O_6$), denominadas, em seu conjunto, **fermentação alcoólica**. Na indústria, essas reações são mediadas por enzimas presentes em leveduras, fungos unicelulares como os da espécie *Saccharomyces cerevisiae*. Os diferentes tipos de bebida são resultado da matéria-prima e do processo de fabricação empregados. Na produção de cerveja, a fonte de

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

glicídios é proveniente principalmente de cereais, como a cevada; na fabricação de vinho, da uva; e, no caso da cachaça, da cana-de-açúcar. Algumas bebidas passam por um processo adicional durante sua fabricação, a **destilação**, que eleva seu teor alcoólico. A destilação é um processo de purificação que tem como base a diferença na temperatura de ebulição das substâncias. A fermentação alcoólica pode ser representada, de forma simplificada, pela equação química a seguir.

$$C_6H_{12}O_6(aq) \xrightarrow{\text{Leveduras}} 2\ C_2H_5OH(aq) + 2\ CO_2(g)$$

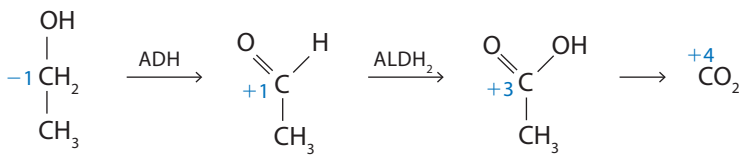
A ingestão de bebidas alcoólicas pode causar sérios danos às pessoas que fazem uso de medicamentos que inibem o SNC, como os antidepressivos, anticonvulsivantes e calmantes. O etanol potencializa o efeito sedativo, causando sonolência e, em casos mais graves, perda de consciência, além de diminuir a eficácia dos fármacos contra as crises de epilepsia e os surtos psicóticos, por exemplo.

Reações de oxirredução: o metabolismo do etanol

O principal órgão envolvido no metabolismo do etanol (C_2H_6O) é o fígado, onde ocorre a **oxidação** dessa substância, produzindo acetaldeído, ou etanal (C_2H_4O), que também é tóxico e pode causar sintomas como dores de cabeça, náuseas e sensibilidade à luz. No organismo, essa reação é principalmente catalisada pela enzima álcool desidrogenase (ADH), que se apresenta ligada a dois íons zinco (Zn^{2+}), os quais são essenciais para a atividade catalítica. Após essa oxidação, o acetaldeído também é oxidado, dando origem ao ácido acético, ou ácido etanoico ($C_2H_4O_2$). Essa segunda reação é catalisada pela enzima aldeído desidrogenase ($ALDH_2$). Por fim, o ácido acético é decomposto, via ciclo de Krebs, em água e dióxido de carbono, os quais são eliminados principalmente na urina e no ar exalado.

O processo metabólico envolvendo o etanol pode ser representado de forma simplificada pelo esquema a seguir, em que a oxidação dos compostos pode ser evidenciada pelo aumento no **número de oxidação** (Nox) do átomo de carbono ligado ao oxigênio, indicado na cor azul.

Embora em pH fisiológico o ácido acético se encontre desprotonado, ou seja, na forma de acetato, optamos por representar a forma protonada para facilitar a compreensão dos estudantes.



Etanol — Acetaldeído — Ácido acético — Dióxido de carbono

O teste do bafômetro

Uma das formas de comprovar a embriaguez é por meio do **etilômetro**, também conhecido como **bafômetro**. Modelos descartáveis de etilômetro indicam a presença de vapor de etanol no ar exalado, por meio da mudança na coloração do indicador. Isso se dá porque as moléculas de etanol podem ser oxidadas por **agentes oxidantes inorgânicos**, como o dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$). Nesse caso, os íons crômio(VI), que conferem coloração alaranjada ao ânion poliatômico dicromato, oxidam as moléculas orgânicas ao mesmo tempo que são reduzidos a íons crômio(III), de coloração esverdeada. Nesse processo, ocorre a diminuição no Nox do crômio de +6 para +3.

DAVID HARE/ALAMY/FOTOARENA

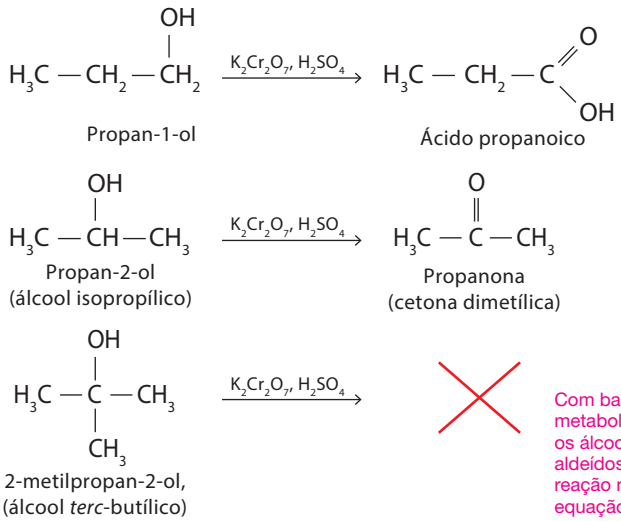
Etilômetro descartável. Nota-se a cor esverdeada do indicador, evidenciando a presença de vapor de etanol no ar exalado pela pessoa testada.

Comente que o dicromato é um agente oxidante forte e, por essa razão, a oxidação não para na etapa de formação do acetaldeído. As reações de desidratação dos álcoois e sua nomenclatura são estudadas no capítulo 8.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A influência da estrutura na reatividade dos álcoois

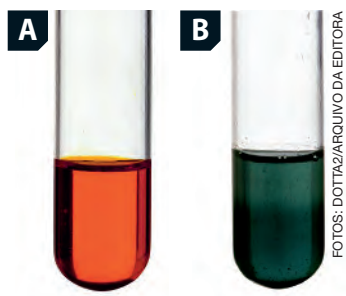
Assim como o etanol, o propan-1-ol é oxidado a um ácido carboxílico na presença de crômio(VI). Nas mesmas condições reacionais, o propan-2-ol é oxidado a uma cetona e o 2-metilpropan-2-ol não reage. A ocorrência ou não dessas reações pode ser verificada por meio da coloração do meio reacional, como estudado anteriormente no teste do bafômetro.



Com base no esquema que representa o metabolismo do etanol, mostre aos estudantes que os álcoois primários são, inicialmente, oxidados a aldeídos e, depois, a ácidos carboxílicos. Como a reação não cessa após a formação do aldeído, a equação foi descrita em uma única etapa.

Nota-se que as características do átomo de carbono ao qual está ligado o grupo hidroxila têm influência na reatividade dos álcoois. Quando o grupo hidroxila está ligado a um átomo de carbono **primário**, ou seja, um átomo de carbono que se liga a apenas outro átomo de carbono, o álcool é oxidado a ácido carboxílico. Quando o grupo hidroxila está ligado a um átomo de carbono **secundário**, ou seja, um átomo de carbono que se liga a apenas dois outros átomos de carbono, o álcool é oxidado a cetona. Por fim, quando o grupo hidroxila está ligado a um átomo de carbono **terciário**, um átomo de carbono que se liga a outros três átomos de carbono, o álcool não é oxidado pelo crômio(VI).

Com base em observações como essas, é possível aplicar um teste qualitativo para diferenciar álcoois primários, secundários e terciários. Um desses testes, chamado **teste de Jones**, em homenagem ao químico galês Ewart Ray Herbert Jones (1911-2002), consiste na utilização do reagente óxido de crômio(VI), CrO_3, em ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado.

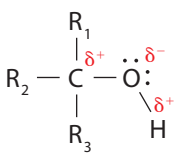


FOTOS: DOTTA2/ARQUIVO DA EDITORA

Resultado do teste de Jones para um álcool terciário **(A)** e para um álcool primário ou secundário **(B)**.

Outra forma rápida e simples de diferenciar álcoois primários, secundários e terciários de baixa massa molecular com base em suas diferentes reatividades é aplicar o **teste de Lucas**, o qual emprega um reagente menos tóxico que o crômio. Esse método foi formulado em 1930 pelo químico estadunidense Howard J. Lucas (1885-1963). O teste consiste no contato entre a amostra e o reagente de Lucas, uma solução obtida pela mistura de ácido clorídrico (HCℓ) concentrado e cloreto de zinco ($ZnC\ell_2$).

Esse teste qualitativo baseia-se em uma reação de **substituição nucleofílica**, em que o ânion cloreto substitui o grupo hidroxila, e leva em consideração a rapidez relativa da reação para cada tipo de álcool.



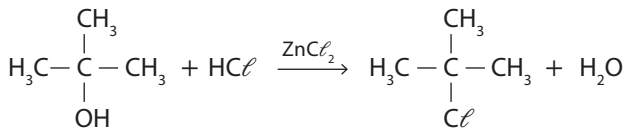
Fórmula geral dos álcoois. Os símbolos R_1, R_2 e R_3 representam cadeias carbônicas ou átomos de hidrogênio, e os símbolos δ^+ e δ^-, cargas parciais.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

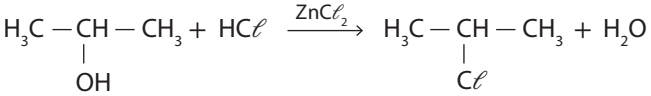
Nota-se que o átomo de carbono ligado ao grupo hidroxila é deficiente em elétrons, favorecendo o mecanismo de substituição pela interação com um nucleófilo como o cloreto ($C\ell^-$). A densidade de carga do carbono ligado à hidroxila é também influenciada pela natureza química dos ligantes R_1, R_2 e R_3. Dependendo da eletronegatividade do ligante, ele pode levar ao aumento ou à diminuição da densidade eletrônica da vizinhança. Esse fenômeno é chamado **efeito indutivo** e, como é de natureza eletrostática, diminui com a distância. Durante a reação de substituição nucleofílica, ocorre **heterólise** da ligação carbono-oxigênio, formando-se uma espécie orgânica instável carregada positivamente, o **carbocátion**. Os grupos alquila aumentam a estabilidade desse intermediário por efeito indutivo, favorecendo a reação.

Assim, os álcoois terciários reagem de forma imediata com o reagente de Lucas, levando à síntese de um cloreto de alquila que, por ser insolúvel em água, torna o meio reacional turvo. Os álcoois secundários levam em torno de cinco minutos para reagir, tornando o meio turvo após esse tempo, enquanto os álcoois primários reagem muito lentamente nessas condições.

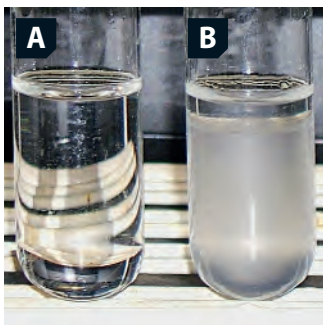
A seguir, são apresentadas as equações químicas que ocorrem no teste de Lucas para álcoois terciários e secundários.



2-metilpropan-2-ol — 2-cloro-2-metilpropano



Propan-2-ol — 2-cloropropano



TALOS & ANDEL/WIKIMEDIA FOUNDATION, INC

Resultado do teste de Lucas para um álcool primário **(A)** e um álcool terciário **(B)**.

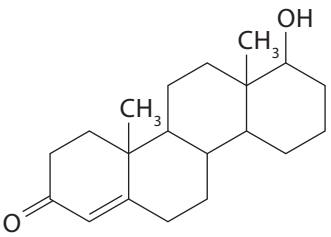
Comente que, dependendo do álcool primário, pode demorar vários dias para que seja possível visualizar a turbidez no meio reacional.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

5. A testosterona, hormônio sexual masculino, é um hormônio polifuncional com a estrutura a seguir.



Testosterona

Submetida à ação de permanganato de potássio em meio ácido, a testosterona sofrerá uma oxidação em um dos seus grupos funcionais. Construa no caderno a estrutura da testosterona depois da reação ocorrida.

6. (UPM-SP) Com a finalidade de preservar a qualidade, as garrafas de vinho devem ser estocadas na posição horizontal. Desse modo, a rolha umedece e incha, impedindo a entrada de [redacted] que causa [redacted] no vinho, formando [redacted].

Os termos que preenchem corretamente as lacunas são: 6. Alternativa **b**.

a. ar; decomposição; etanol.
b. gás oxigênio (do ar); oxidação; ácido acético.
c. gás nitrogênio (do ar); redução; etano.
d. vapor de água; oxidação; etanol.
e. gás oxigênio (do ar); redução; ácido acético.

7. Um estudante de Química encontrou um frasco cheio com um líquido incolor. No rótulo havia a fórmula C_3H_6O. Para determinar se a substância era propanal ou a propanona, ele fez um teste com solução ácida de dicromato de potássio, a qual apresenta coloração laranja. Porém, quando há reação de oxirredução, a solução muda de coloração para verde-azulado. Quais são os resultados esperados para as duas possibilidades existentes?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A síntese do ibuprofeno e a Química Verde

A **Química Verde** é uma área que promove um conjunto de ações para a fabricação de produtos químicos por meio de processos projetados para reduzir ou eliminar impactos ambientais negativos. Tais ações estão sumarizadas na imagem a seguir. A produção do ibuprofeno ($C_{13}H_{18}O_2$), fármaco usado no tratamento de inflamações, febre e no alívio da dor, é um exemplo de aplicação dos princípios da Química Verde na síntese de moléculas bioativas.

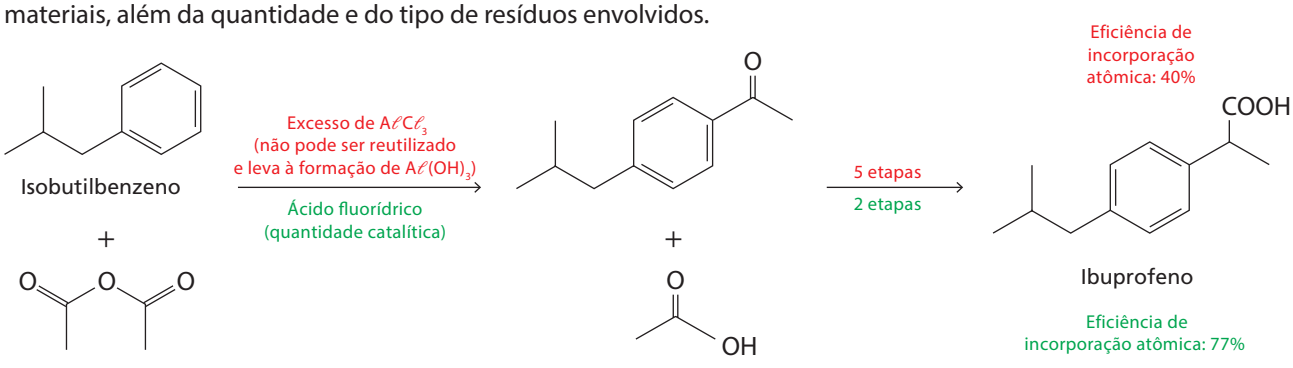
NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Síntese dos princípios da Química Verde.

Dê alguns exemplos de substâncias auxiliares, como solventes, catalisadores e agentes secantes.

Desde a sua criação, na década de 1960, o ibuprofeno vinha sendo sintetizado por um processo de seis etapas que alcançava uma eficiência de incorporação dos átomos dos reagentes nos produtos de apenas 40%. Ou seja, considerando a massa de todos os átomos envolvidos no processo, o desperdício era de 60%, contrariando o princípio da **economia atômica**. No início da década de 1990, uma nova rota de síntese foi desenvolvida e o ibuprofeno passou a ser obtido em apenas três etapas, com uma eficiência de incorporação dos átomos dos reagentes nos produtos de 77%. Em ambos os casos, a síntese começa com a acetilação do isobutilbenzeno ($C_{10}H_{14}$). Porém, na nova rota, no lugar do cloreto de alumínio ($A\ell C\ell_3$) em excesso, utiliza-se ácido fluorídrico (HF) como catalisador. Isso diminui a produção de resíduos e a necessidade de substâncias auxiliares, uma vez que o ácido fluorídrico é usado em menor quantidade e pode ser reaproveitado no processo.

O esquema a seguir permite comparar a rota tradicional de síntese desse fármaco, em vermelho, com a rota verde, assim chamada em função da redução no número de etapas e da quantidade de materiais, além da quantidade e do tipo de resíduos envolvidos.



Enfatize que o conceito de economia atômica é um parâmetro teórico oriundo da estequiometria da reação. Ele não leva em consideração o rendimento real obtido em laboratório nem a presença de solventes e catalisadores.

Fonte: elaborado com base em POLIAKOFF, M.; LICENCE, P. Sustainable technology: green chemistry. **Nature**, n. 450, p. 810-812, dez. 2007.

Fique por dentro

Ciência sem limites – Química Verde

CIÊNCIA SEM LIMITES – QUÍMICA VERDE. [*S. l.*: *s. n.*], 2018. 1 vídeo (25 min). Publicado pelo canal TV Unesp. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=AAf0o0VZ8To. Acesso em: 9 ago. 2024.

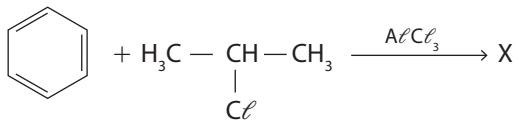
Reportagem produzida pela TV Unesp que trata dos princípios da Química Verde e de sustentabilidade.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADES DE FECHAMENTO

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. Os derivados do benzeno são utilizados com mais frequência que o próprio benzeno porque muitos são menos tóxicos. Na reação representada a seguir, ocorre a formação de um desses derivados (X).



Sobre essa reação, qual das alternativas abaixo é a correta?

a. O $A\ell C\ell_3$ não é o catalisador.

1. Alternativa **e**.

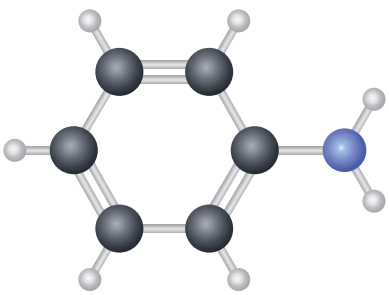
b. O cloro será adicionado ao benzeno.

c. Ocorrerá adição do grupo propil ao benzeno.

d. A reação é um exemplo típico de acilação de Friedel-Crafts.

e. O produto majoritário dessa reação será o isopropilbenzeno.

2. O modelo molecular a seguir, em que os átomos de hidrogênio estão representados em cinza-claro, os de carbono, em cinza-escuro e os de nitrogênio, em azul, representa a anilina, uma amina derivada do benzeno bastante utilizada na indústria para a produção de corantes e herbicidas.



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

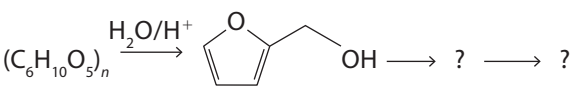
Anilina

a. Indique a fórmula molecular da anilina.

b. Proponha uma sequência de reações químicas que, originada do benzeno, permita a obtenção do composto representado.

3. A hidrólise ácida da celulose presente em rejeitos, como o bagaço da cana-de-açúcar, resulta na formação de álcool furfurílico, que pode ser convertido em insumos de alto valor agregado utilizados pela indústria química. Reproduza o esquema a seguir em seu caderno, completando-o com a fórmula estrutural e o nome da função química dos produtos formados, assim como o tipo de reação envolvida em cada etapa.

ODS 12



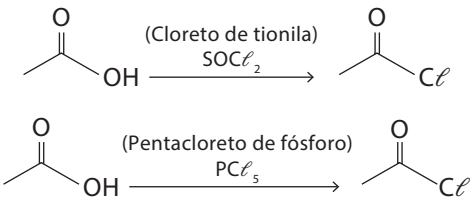
Celulose — Álcool furfurílico — Furfural — Ácido furoico

4. O Armandinho, uma personagem criada pelo ilustrador Alexandre Beck, é uma criança muito curiosa e observadora, e isso, muitas vezes, resulta em situações embaraçosas. Acompanhe um dos diálogos entre ele e seu pai.

© ALEXANDRE BECK

Se você fosse o pai do Armandinho, como responderia ao argumento apresentado pelo menino?

5. Existe mais de uma rota sintética para a obtenção de haletos de acila. A seguir, são esquematizados dois métodos. Em qual deles se obtém maior economia atômica? Justifique.



6. Em um laboratório, foi encontrado um frasco sem rótulo, apenas identificado com uma etiqueta que informava: Álcool – $C_4H_{10}O$. Para identificar o composto, um estudante preparou os reagentes de Lucas e de Jones, fazendo-os reagir com pequenas porções da substância, em dois tubos de ensaio separadamente, anotando os resultados.

Teste		Aspecto antes da reação	Observações ao final da reação
1	Álcool	Líquido incolor	O álcool se dissolveu no reagente de Lucas e formou-se uma suspensão.
	Reagente de Lucas	Líquido incolor	
2	Álcool	Líquido incolor	O álcool se dissolveu no reagente de Jones e o meio mudou de cor.
	Reagente de Jones	Líquido alaranjado	

Com base nas anotações, indique o nome e a fórmula estrutural do álcool contido no frasco. Justifique sua conclusão.

7. Pela síntese de Friedel-Crafts, quantas cetonas derivadas de benzeno diferentes podem ser obtidas por monossubstituição quando se reage 1 mol de naftaleno com 1 mol de cloreto de etanoíla? Justifique desenhando suas fórmulas estruturais. Dica: construa modelos moleculares físicos dos reagentes utilizando palitos de churrasco e bolas de isopor, ou palitos de dente e massa de modelar, e avalie se as representações obtidas são de uma mesma substância ou não ao tentar sobrepô-las.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Capítulo 19

Nutrientes

HENRIQUE ZANI/ARQUIVO DA EDITORA

INFORMAÇÃO NUTRICIONAL

Porções por embalagem: 5
Porção: 200 ml (1 copo)

	100 ml	200 ml	%VD*
Valor energético (kcal)	36	72	4
Carboidratos (g)	4,8	9,6	3
Açúcares totais (g)	4,8	9,6	
Açúcares adicionados (g)	0	0	0
Proteínas (g)	3,1	6,2	12
Gorduras totais (g)	0,5	1	2
Gorduras saturadas (g)	0	0	0
Gorduras trans (g)	0	0	0
Fibras alimentares (g)	0	0	0
Sódio (mg)	63	126	6
Cálcio (mg)	125	250	25

*Percentual de valores diários fornecidos pela porção.

INGREDIENTES: leite desnatado e estabilizantes citrato de sódio, trifosfato de sódio, monofosfato monossódico e difosfato dissódico. **ALÉRGICOS: CONTÉM LEITE. CONTÉM LACTOSE. NÃO CONTÉM GLÚTEN.**

Manter em local seco e arejado. Não é necessário ferver este leite. Após aberto, conservar sob refrigeração entre 1 °C e 10 °C e consumir em até 48 horas.

MINISERIES/E+/GETTY IMAGES

As informações nutricionais e a lista de ingredientes presentes no rótulo de uma embalagem podem auxiliar na escolha de qual produto comprar. Em destaque, temos as informações nutricionais de uma embalagem de leite desnatado.

OBJETO DIGITAL Carrossel de imagens: Categorias alimentares

No rótulo dos alimentos industrializados encontramos informações como o valor energético, a composição nutricional e a lista de ingredientes utilizados na fabricação ou no processamento do alimento. Essas informações são obrigatórias no caso de alimentos embalados na ausência do consumidor e, geralmente, são apresentadas na forma de tabelas, como mostrado na imagem.

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) determina que as tabelas de informação nutricional apresentem, obrigatoriamente, o valor energético de cada porção do alimento, bem como as quantidades, em gramas (g) ou miligramas (mg), e os percentuais de valores diários de referência (%VD) de glicídios (carboidratos, especialmente açúcar adicionado), proteínas, lipídios (gorduras), fibras alimentares e sódio. Os três primeiros são classificados como **macronutrientes**, pois são os componentes de que nosso corpo necessita em maiores quantidades diariamente. Já outros componentes, como vitaminas, sódio, cálcio e outros minerais, formam o grupo dos **micronutrientes**, pois são necessários em menores quantidades em comparação aos demais e devem constar na tabela de informação nutricional apenas se forem fornecidos em quantidades iguais ou superiores a 5% da ingestão diária recomendada (IDR) pela Anvisa, com exceção do sódio, cuja inclusão é obrigatória.

Já as listas de ingredientes devem informar todos os itens utilizados para a fabricação do alimento, começando por aquele presente em maior quantidade e seguindo em ordem decrescente, incluindo os **aditivos alimentares**, como corantes, aromatizantes e conservantes. O rótulo também deve indicar componentes oriundos de espécies transgênicas e substâncias que causam alergia ou que não podem ser consumidas por algumas pessoas, como o glúten e a lactose.

Neste capítulo, vamos explorar aspectos estruturais e propriedades de nutrientes e de alguns aditivos alimentares, contribuindo, assim, para escolhas mais conscientes e saudáveis em relação à alimentação.

Fique por dentro

CIÊNCIA no Ar. Programa Pitadas de Ciência

Disponível em: https://www.ufmg.br/cienciano ar/conteudo/programa-1-abertura/. Acesso em: 19 ago. 2024.

Ciência no Ar é um programa de extensão da UFMG que reúne projetos de divulgação científica feitos para várias mídias. Os episódios do *podcast Pitadas de Ciência* trazem curiosidades sobre fenômenos químicos envolvendo alimentos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Lipídios

Os **lipídios** são nutrientes que desempenham diferentes funções nos organismos vivos: compõem reservas energéticas, atuam como isolantes térmicos e são componentes estruturais das membranas celulares, precursores de hormônios, cofatores enzimáticos, pigmentos absorvedores de luz, agentes emulsificantes no sistema digestório e mensageiros intracelulares.

De forma geral, os lipídios apresentam em sua constituição apenas átomos de carbono, hidrogênio e oxigênio. Embora sejam um grupo quimicamente diverso, compartilham a característica de ter baixa solubilidade em água.

Ácidos graxos

Muitos lipídios são derivados dos chamados **ácidos graxos**, ácidos carboxílicos que apresentam geralmente entre 4 e 36 átomos de carbono em suas cadeias sem ramificação e com número par de átomos de carbono.

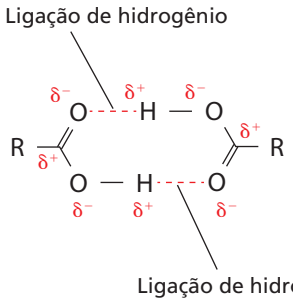
Ácidos carboxílicos

O grupo **carboxila**, presente nos ácidos graxos, nos aminoácidos que formam as proteínas e em alguns glicídios, é característico da função ácido carboxílico. Nas representações desse grupo funcional a seguir, a letra R indica um átomo de hidrogênio ou uma cadeia carbônica.

Representações possíveis para o grupo funcional dos ácidos carboxílicos, caracterizado pela presença de um grupo carbonila (C═O) ligado a um grupo hidroxila (—OH).

No grupo **carboxila**, as ligações covalentes são polares, pois conectam átomos com eletronegatividades diferentes. Isso resulta em cargas parciais positivas (δ^+), no carbono e no hidrogênio, e negativas (δ^-), nos átomos de oxigênio, além de caráter polar às moléculas.

As moléculas de ácido carboxílico interagem entre si e com as moléculas da água por meio de **ligações de hidrogênio**, tipo de interação intermolecular que ocorre entre as moléculas que apresentam pelo menos um átomo de hidrogênio ligado a átomos de nitrogênio, oxigênio ou flúor. Quando essa interação ocorre entre duas moléculas de ácido carboxílico pode haver a formação de dímeros, como na representação a seguir.



A determinação da polaridade e sua relação com as forças intermoleculares são discutidas no capítulo 2.

Em virtude da presença do grupo carboxila, as interações intermoleculares formadas por ácidos carboxílicos são mais fortes do que entre moléculas que apresentam somente o grupo hidroxila, como álcoois e fenóis, ou somente o grupo carbonila, como aldeídos e cetonas. Desse modo, os ácidos carboxílicos apresentam temperaturas de fusão e de ebulição maiores do que outros compostos de massa molar semelhante pertencentes a essas funções químicas.

Os ácidos carboxílicos com cadeias carbônicas lineares curtas (até oito átomos de carbono) são líquidos a 25 °C e 1 atm, incolores e com odor característico. Ácidos carboxílicos com cadeias carbônicas mais longas (tipicamente acima de oito átomos de carbono) podem ser sólidos ou líquidos a 25 °C e 1 atm, dependendo do tamanho de sua cadeia e da quantidade de insaturações presentes na molécula.

A formação de ligações de hidrogênio com a água possibilita que ácidos carboxílicos de cadeia carbônica curta (usualmente até cinco átomos de carbono) sejam solúveis nesse solvente. Outro fator que contribui para a solubilidade em água é a ionização desses compostos por meio do rompimento da ligação O — H. Essa reação química é reversível, por isso pode ser representada utilizando uma dupla seta, como na equação química a seguir.

$$RCOOH(aq) + H_2O(\ell) \rightleftarrows RCOO^-(aq) + H_3O^+(aq)$$

A designação "ácido" para identificar essa classe de compostos advém da propriedade de formar íons H^+ em solução aquosa.

Assim como para outras funções orgânicas, existe para os ácidos carboxílicos um sistema de nomenclatura sistemática definido pela IUPAC. O nome dessas substâncias é formado pela junção de um prefixo, que indica a quantidade de átomos de carbono ligados em sequência (cadeia principal); de um infixo, indicando o tipo de ligação covalente entre os átomos de carbono na cadeia principal (só simples, com dupla ou com tripla); e do sufixo "oico", indicativo da classe funcional dos ácidos carboxílicos, como em ácido butanoico.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

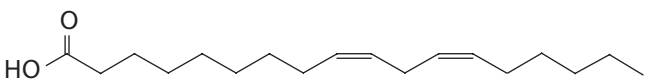
No entanto, na indústria alimentícia, ainda é comum que se empreguem nomes usuais para identificar os ácidos carboxílicos. O ácido butanoico, que confere aroma característico de manteiga (*butyrum*, em latim), é comumente identificado como ácido butírico.

Lipídios essenciais

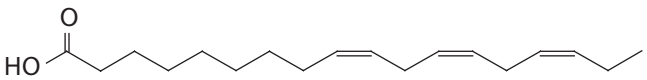
Como em todos os compostos orgânicos, as cadeias dos ácidos graxos também são classificadas em função do tipo de ligação covalente entre os átomos de carbono. Assim, nas moléculas dos ácidos graxos **saturados**, verificam-se apenas ligações simples conectando esses átomos, classificados como átomos de carbono saturados. A proporção entre carbonos e hidrogênios nesses ácidos obedece à fórmula $C_nH_{2n+1}COOH$. Quando as cadeias apresentam ligações duplas entre átomos de carbono, esses átomos são classificados como insaturados e tem-se os ácidos graxos **insaturados**.

Nosso organismo não é capaz de sintetizar todos os ácidos graxos necessários para seu funcionamento. Por isso, alguns ácidos graxos poli-insaturados (AGPI) são classificados como **essenciais**.

Os ácidos linoleico ($C_{18}H_{32}O_2$) e α-linolênico ($C_{18}H_{30}O_2$) são encontrados em hortaliças de coloração verde-escura; em alguns cereais, como a aveia e o milho; e em peixes, como a sardinha e o salmão. Esses ácidos graxos compõem a membrana celular, proporcionando fluidez a essa estrutura; atuam na transmissão dos impulsos nervosos e participam da síntese da hemoglobina, além de serem precursores de outros lipídios em nosso organismo.



Ácido linoleico



Ácido α-linolênico

Os AGPI recebem denominações específicas em sua classificação. Por meio delas, é indicada a proporção entre o número de átomos de carbono e o número de ligações duplas na cabeia carbônica. Além disso, faz-se a indicação da posição da primeira ligação dupla, a contar do último átomo de carbono, com a letra *n* ou ω (ômega, última letra do alfabeto grego). Assim, o ácido linoleico é um AGPI 18:2 ω-6, e o ácido α-linolênico, um AGPI 18:3 ω-3.

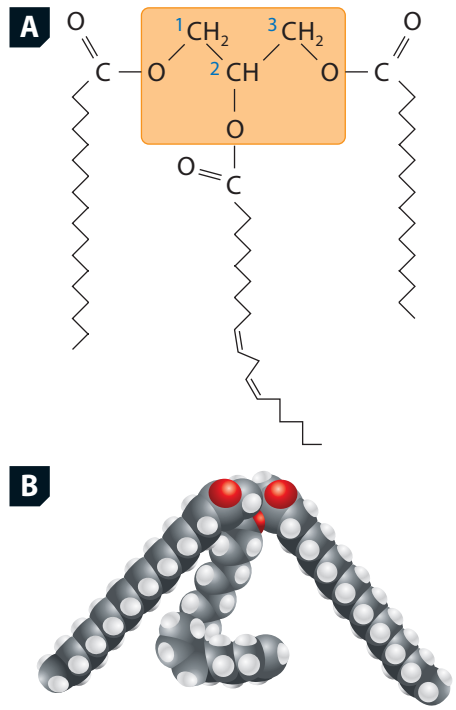
Os ácidos graxos do grupo ômega-3 têm sido muito utilizados em dietas terapêuticas, principalmente em pacientes acometidos de cardiopatias e de doenças degenerativas do sistema nervoso central.

Lipídios de reserva energética

Na maioria dos eucariontes, determinado grupo de lipídios acumula-se no citoplasma de células do tecido adiposo, exercendo a função de isolante térmico e de reserva energética. Estruturalmente, os lipídios desse grupo são ésteres resultantes da reação entre ácidos graxos e glicerol (propano-1,2,3-triol) e recebem o nome de **glicerídeos**. O grupo funcional dos ésteres pode ser descrito como um derivado da carboxila em que, no lugar do átomo de hidrogênio da hidroxila, encontra-se uma cadeia carbônica (— COOR).

Os glicerídeos formados por três moléculas de ácido graxo ligadas ao glicerol são conhecidos como triglicerídeos (ou triacilgliceróis), como o glicerol-1-estearato-2-linoleato-3-palmitato, representado a seguir.

A classe dos ésteres é abordada no capítulo 8.



Glicerol-1-estearato-2-linoleato-3-palmitato, um triacilglicerol misto.
(A) Fórmula estrutural, com destaque para a parte derivada do glicerol.
(B) Representação tridimensional do tipo modelo de espaço preenchido.
(Imagem sem escala; cores-fantasia.)

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Os triglicerídios são encontrados em grande parte dos alimentos, tanto de origem animal quanto vegetal, e podem ser classificados em **óleos** e **gorduras**. Algumas gorduras de origem animal são o sebo e a banha. Entre as de origem vegetal há a gordura de cacau – utilizada para produzir manteiga de cacau, empregada na fabricação do chocolate branco.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

NA PRÁTICA Os lipídios presentes nos alimentos

Você sabe que característica estrutural determina predominantemente se um lipídio será um óleo ou uma gordura?

Reúna-se em grupo e leia todo o procedimento.

OBJETIVO

Avaliar a presença de ácidos graxos insaturados em produtos destinados ao consumo.

MATERIAL

- 4 tubos de ensaio em um suporte ou 4 copos de vidro pequenos
- Pinça para manusear objetos quentes
- Espátula ou 1 colher de sopa
- 4 conta-gotas ou 4 pipetas e 1 conta-gotas
- Banho-maria ou recipiente em que os tubos possam ser aquecidos em contato com água quente
- Tintura de iodo 2% comprada em farmácia
- Solução de amido 1% previamente preparada
- Óleo de soja
- Gordura de coco
- Água destilada ou água filtrada
- Marcador permanente

PREPARE-SE!

- Façam uma pesquisa sobre os ácidos graxos presentes no óleo de soja e na gordura de coco. Com base na presença de ligações duplas nas cadeias carbônicas, classifiquem esses compostos em saturados e insaturados.
- Verifiquem se há semelhanças entre a estrutura dos ácidos graxos presentes na gordura de coco e no óleo de soja e a das substâncias que compõem o amido. Como é esperado que o iodo reaja com cada uma dessas substâncias? A reação de adição à ligação dupla é apresentada no capítulo 8.
- Pesquisem o que é o índice de iodo. Como essa prática investigativa permite estimar o índice de iodo da gordura de coco e do óleo de soja?

Não manipule os tubos de ensaio em banho-maria, pois pode haver risco de queimaduras. O professor auxiliará o grupo nesse momento.
Ao manusear a tintura de iodo, evite contato com a pele, os olhos e a boca.
Siga as orientações do professor em relação ao descarte dos materiais utilizados.

PROCEDIMENTO

Etapa 1

- Identifiquem os tubos de ensaio com as letras A, B, C e D.
- No tubo A, coloquem 40 gotas da solução de amido. Observem e registrem as características.
- Ao tubo A, adicionem, com cuidado, 2 gotas da tintura de iodo. Comparem os sistemas inicial e final e anotem as evidências de transformação química.

Etapa 2

- Com o auxílio do professor, aqueçam uma porção de gordura de coco, em banho-maria, até que esteja líquida.
- Nos tubos B, C e D, coloquem 40 gotas ou 2 mL de água, gordura de coco e óleo de soja, respectivamente.
- A esses tubos, adicionem 5 gotas da tintura de iodo. Observem e anotem as características do sistema.
- Com o auxílio do professor, aqueçam os tubos, em banho-maria, até notar o desaparecimento da coloração da tintura de iodo em um dos tubos.
- Retirem os tubos do banho-maria e aguardem o resfriamento.

Etapa 3

- Aos tubos B, C e D, adicionem 3 gotas da solução de amido. Observem e anotem os resultados.

1. Quais foram as evidências de transformação química observadas ao final de cada etapa? Procure explicar os resultados com base no que foi pesquisado em **Prepare-se!**. O que se pode concluir sobre o índice de iodo das amostras?
2. Entre a solução de amido e a amostra de água, qual funciona como indicador e como controle negativo na análise química?
3. Quais seriam os resultados observados se também fosse utilizada uma amostra de manteiga?
4. De acordo com os dados da tabela a seguir, qual óleo deve apresentar maior índice de iodo? Justifique.

Percentual em massa de ácidos graxos na composição de óleos

Tipo de óleo	Palmítico $C_{15}H_{31}COOH$ (%)	Linolênico $C_{17}H_{29}COOH$ (%)	Oleico $C_{17}H_{33}COOH$ (%)	Linoleico $C_{17}H_{31}COOH$ (%)
Linhaça	6	46	21	17
Cártamo	6	< 1	14	74

Perfil de ácidos graxos nos óleos de linhaça e cártamo.

Fontes: NOVELLO, D.; POLLONIO, M. A. R. Caracterização físico-química e microbiológica da linhaça dourada e marrom (*Linum Usitatissimum* L.). **Rev. Inst. Adolfo Lutz**, São Paulo, v. 71, n. 2, p. 291-300, 2012; SILVA, A. S. **Óleos vegetais extraídos a frio comercializados na cidade de São Paulo**. Dissertação (Mestrado em Nutrição em Saúde Pública) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

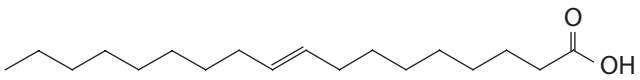
Retome o rótulo apresentado no início do capítulo, relacionando os efeitos da gordura *trans* à obrigatoriedade da informação de seu conteúdo nos alimentos. O colesterol e outros esteroides, lipídios que não contêm ácidos graxos, são estudados no capítulo 15.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

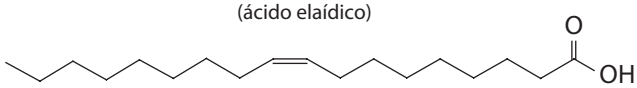
Gorduras saturadas e gorduras *trans*

OBJETO DIGITAL
***Podcast*: O que a história da margarina tem a ver com a Química?**

Os ácidos graxos insaturados podem apresentar configurações espaciais diferentes. Observe, como exemplo, as fórmulas estruturais de dois ácidos graxos encontrados no azeite de oliva.



Ácido *trans*-octadec-9-enoico
(ácido elaídico)



Ácido *cis*-octadec-9-enoico
(ácido oleico)

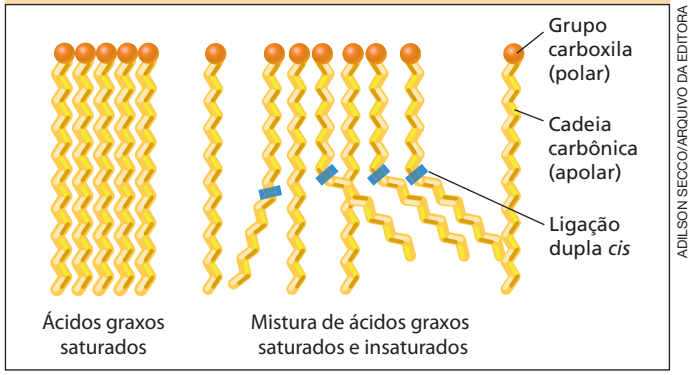
A diferença na configuração das estruturas dos ácidos elaídico e oleico se deve ao fato de que a ligação dupla impede a livre rotação dos átomos ao longo do eixo de ligação, tornando fixa a posição dos grupos de átomos ligados aos átomos de carbono insaturados. Como essas estruturas diferentes têm a mesma fórmula molecular, verificamos mais um exemplo de estereoisomeria. Os ácidos graxos insaturados naturais apresentam, na maioria das vezes, configuração *cis*.

A estereoisomeria é estudada no capítulo 17.

A **gordura** *trans* ganhou destaque na mídia graças à divulgação dos malefícios à saúde decorrentes de seu consumo. O principal problema relacionado à ingestão de ácidos graxos *trans* é que eles não são metabolizados pelo organismo da mesma maneira que a forma *cis*, acumulando-se nas membranas celulares. Esse acúmulo causa aumento dos níveis de lipoproteínas de baixa densidade (LDL) na corrente sanguínea e redução dos níveis de lipoproteínas de alta densidade (HDL). Isso aumenta o risco de desenvolvimento de doenças cardiovasculares.

Além do comprimento da cadeia carbônica, o grau de insaturação e sua configuração espacial são aspectos que determinam as propriedades físico-químicas dos ácidos graxos. Compare, a seguir, o grau de empacotamento das moléculas de um ácido graxo saturado e de uma mistura de ácidos graxos saturados e insaturados na configuração *cis*, com o mesmo número de átomos de carbono.

Interação entre moléculas de ácidos graxos



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de Bioquímica de Lehninger**. Tradução Ana Beatriz G. da Veiga *et al.* 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2014.

Representação simplificada da interação entre as cadeias carbônicas dos ácidos graxos. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Comente que, se a configuração das ligações duplas é *trans*, o arranjo das cadeias se assemelha à cadeia dos ácidos graxos saturados. Enfatize que, embora as forças dispersivas de London sejam individualmente menos intensas que as interações do tipo dipolo permanente-dipolo permanente, como as cadeias carbônicas dos ácidos graxos são grandes, elas se tornam mais expressivas que essas últimas.

A 20 °C, o agrupamento de ácidos graxos saturados apresenta suas cadeias carbônicas estendidas. Isso possibilita um arranjo organizado e compacto estabilizado por intensas interações intermoleculares do tipo **forças dispersivas de London** (dipolo instantâneo-dipolo induzido). Em consequência, o material tem consistência de cera.

Na mesma temperatura, o agrupamento de cadeias da mistura é amorfo, apresentando interações intermoleculares menos intensas. Em consequência, o material assume a forma de um líquido viscoso.

Os estados de agregação da matéria observados têm relação com o fato de as interações intermoleculares terem origem eletrostática e, portanto, diminuírem com o aumento da distância entre as partículas.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Aplique e registre — Registre em seu caderno

1. É correto afirmar que todos os triglicerídeos são lipídios, e vice-versa? Explique.
2. Leia o trecho a seguir e responda ao que se pede.

> [...] Uma pesquisa recente informou que 72% do público americano classificou o óleo de coco como um "alimento saudável" em comparação com 37% dos nutricionistas. Esta diferença entre opinião leiga e especialista pode ser atribuída à publicidade do óleo de coco na imprensa popular.
>
> O perfil de ácidos graxos do óleo de coco é 82% saturado, cerca de metade sendo ácido láurico e os demais sendo ácidos graxos mirístico, palmítico, esteárico e de cadeia curta. O ácido láurico substituindo os carboidratos causa aumento do colesterol LDL em cerca de metade do que causam os ácidos mirístico e palmítico. O ácido láurico aumenta o colesterol HDL tanto quanto o mirístico, mas mais do que o ácido palmítico. [...]
>
> **Fonte:** AMPE. Óleo de coco pode não ser tão benéfico quanto se pensa, 22 jun. 2017. Disponível em: www.ampe-med.com/site/noticia.php?id=1846. Acesso em: 16 out. 2024.

   a. Sabendo que o ácido graxo predominante na composição do óleo de coco tem em sua molécula 12 átomos de carbono, represente sua fórmula estrutural.
   b. Explique por que o alto teor de ácidos graxos saturados no óleo de coco pode não ser saudável, mesmo que ele seja considerado por muitos um "superalimento". Em sua resposta, aborde o impacto dos ácidos graxos saturados na saúde cardiovascular.

Glicídios

Os **glicídios** representam a principal fonte de energia para o nosso organismo. Essa energia é obtida por meio da oxidação de suas moléculas, como mostra esquematicamente a equação química a seguir.

Glicídio + Gás oxigênio → Gás carbônico + Água

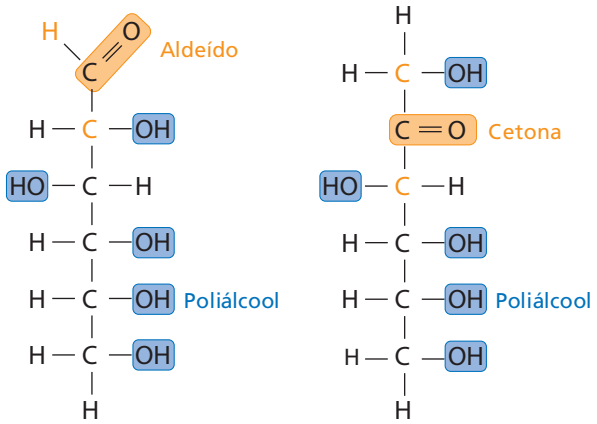
O termo **carboidrato**, muitas vezes utilizado como sinônimo de glicídio, remete à composição de boa parte desses compostos, que são constituídos apenas de átomos de carbono, hidrogênio e oxigênio em uma proporção que pode ser representada pela fórmula mínima $C_x(H_2O)_y$, em que *x* e *y* são números inteiros. Existem glicídios que apresentam os átomos desses elementos químicos em outras proporções ou que contêm átomos de nitrogênio, fósforo ou enxofre. Embora nem todas tenham sabor adocicado, essas substâncias também são conhecidas como **sacarídeos**, termo derivado do grego *sakkharon*, que significa "açúcar".

Os glicídios são classificados de acordo com sua estrutura molecular. Os **monossacarídeos** são as moléculas mais simples, que se combinam para formar outros glicídios de estrutura mais complexa. Os **oligossacarídeos** (do grego *oligo* = poucos) são formados por cadeias curtas de monossacarídeos; já os glicídios que contêm mais de vinte unidades de monossacarídeos são denominados **polissacarídeos** (do grego *poli* = muitos) e, por isso, são classificados como polímeros naturais (do grego *méros* = parte).

Monossacarídeos e dissacarídeos

Os monossacarídeos, como a glicose ($C_6H_{12}O_6$), são substâncias sólidas e cristalinas, a 25 °C e 1 atm, que se solubilizam facilmente em água. Dependendo do número de átomos de carbono nas moléculas, eles são classificados como trioses, tetroses, pentoses, hexoses, heptoses, e daí por diante.

Por convenção, as cadeias carbônicas abertas dos monossacarídeos são representadas verticalmente, com a função aldeído ou cetona no topo ou próximo ao topo. Quando representado dessa forma, atribui-se o nome do monossacarídeo de acordo com a posição da hidroxila de seu último átomo de carbono assimétrico – contado a partir do grupo funcional. Lembre-se de que, para determinar se um átomo de carbono é assimétrico, verificamos se ele está conectado a quatro átomos ou grupos de átomos diferentes. Se a hidroxila desse carbono estiver voltada para a direita, o nome é antecedido pela letra **D**, e se estiver voltada para a esquerda, pela letra **L**. A seguir, são apresentadas as fórmulas estruturais de cadeia aberta de dois monossacarídeos, ambos na configuração D.



A partir da esquerda: fórmulas estruturais planas da D-glicose e da D-frutose, duas hexoses abundantes nas frutas.

As moléculas representadas apresentam mais de um grupo hidroxila (— OH) ligado a átomos de carbono saturados, o que as caracteriza como **poliálcoois**. Além disso, em cada uma das estruturas, há um grupo carbonila (C=O) ligado a um conjunto de átomos diferente. Na estrutura da D-glicose, a carbonila caracteriza a função **aldeído**; já na

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

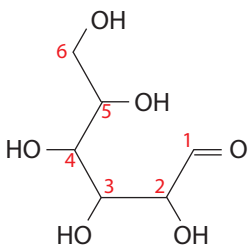
estrutura da D-frutose, ela caracteriza a função **cetona**. Por isso, os monossacarídeos são classificados em poli-hidroxialdeídos, ou **aldoses**, e poli-hidroxicetonas, ou **cetoses**.

Mesmo com as diferenças estruturais apresentadas, as moléculas desses dois glicídios apresentam a mesma fórmula molecular ($C_6H_{12}O_6$). Trata-se de um tipo de isomeria constitucional, caracterizada pela diferença das classes funcionais. Assim, esses dois compostos são chamados **isômeros de função**. As propriedades físico-químicas variam entre esses isômeros. A frutose, por exemplo, além de ser mais doce ao paladar do que a glicose, decompõe-se a uma temperatura menor.

Aldeídos e cetonas

Os aldeídos podem ser representados de maneira simplificada pela fórmula geral R — CHO, em que R corresponde a um átomo de hidrogênio ou a uma cadeia carbônica.

Para nomear os aldeídos de acordo com a nomenclatura sistemática, aplicam-se as mesmas regras já apresentadas, utilizando-se o sufixo "al", indicativo da classe funcional dos aldeídos. Observe o exemplo da glicose, um composto de função mista.



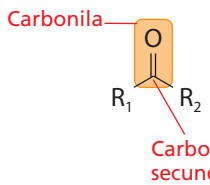
Comente que, nesse caso, os demais hifens são usados para separar as palavras iniciadas em h, de acordo com o Novo Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa.

2,3,4,5,6-penta-hidróxi-hexanal

Nesse caso, não foi necessário indicar a posição do grupo funcional carbonila, uma vez que ele está na extremidade da cadeia, como em todos os aldeídos. Porém, é necessário indicar a posição de outros grupos substituintes.

A parte "hidróxi" corresponde à presença do grupo hidroxila (— OH) na estrutura; o termo "penta" indica a quantidade de ocorrências desse grupo na molécula; e os números, a quais átomos de carbono esses grupos estão ligados. Note que a carbonila tem prioridade sobre o grupo hidroxila e, portanto, a numeração da cadeia se inicia por ela. Perceba que a sequência dos números localizadores é separada por vírgulas e que entre essa sequência e o prefixo se acrescenta um hífen.

Como estudamos, as cetonas são compostos orgânicos que também apresentam o grupo carbonila. Porém, enquanto nos aldeídos o átomo de oxigênio da carbonila está ligado a um átomo de carbono primário na extremidade da cadeia, nas cetonas esse grupo se liga a um átomo de carbono secundário, ou seja, conectado a dois outros átomos de carbono.



Fórmula geral das cetonas; R_1 e R_2 representam dois substituintes (alifáticos ou aromáticos), que podem ser iguais ou diferentes entre si.

O sufixo "ona" é utilizado para caracterizar a classe funcional das cetonas. E, quando há mais de cinco átomos de carbono na cadeia principal, é também necessário indicar a posição do grupo carbonila na estrutura, iniciando-se a numeração pela extremidade mais próxima a esse grupo funcional.

Graças à polaridade do grupo carbonila, aldeídos e cetonas com pequenas massas molares apresentam considerável solubilidade em água, sendo o etanal (CH_3CHO) e a propanona (CH_3COCH_3) solúveis em qualquer proporção.

Aldeídos e cetonas interagem com a água por meio de **forças de Keesom** (dipolo permanente-dipolo permanente). Elas são menos intensas, por exemplo, do que as ligações de hidrogênio que se estabelecem entre álcoois e água.

ATIVIDADE COMENTADA

A rafinose é um trissacarídeo de frutose, glicose e galactose encontrado em plantas, como leguminosas e grãos. Embora seja difícil de digerir para os humanos, a substância é fermentada por bactérias no trato digestivo de animais ruminantes e herbívoros, fornecendo energia. Além disso, a rafinose possui propriedades prebióticas, promovendo o crescimento de bactérias benéficas no intestino humano, sendo relevante para pesquisas a respeito de dietas saudáveis e funcionais.

Sabendo que a fórmula molecular de cada um dos monossacarídeos constituintes é $C_6H_{12}O_6$, determine a fórmula molecular da rafinose.

Analisar o enunciado

A questão solicita a fórmula molecular da rafinose, um trissacarídeo.

Selecionar as informações relevantes

Temos as seguintes informações:

- A rafinose é uma molécula formada pela combinação de três monossacarídeos: frutose, glicose e galactose.
- Os três precursores da rafinose apresentam fórmula $C_6H_{12}O_6$.

Continua

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Continuação

Aplicar o conceito estudado

Para determinar a fórmula da rafinose, não basta somar as fórmulas moleculares dos monossacarídeos, pois deve-se considerar diminuição de dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio da soma quando dois monossacarídeos formam um dissacarídeo, ou de quatro átomos de hidrogênio e dois de oxigênio quando três monossacarídeos formam um trissacarídeo. Ou seja, a formação de um trissacarídeo causa a liberação de duas moléculas de água.

Assim, calculando a fórmula molecular da rafinose, temos:

$3\ C_6H_{12}O_6 - 2\ H_2O = C_{18}H_{32}O_{16}$

Verificar a solução

A fórmula molecular do rafinose é: $C_{18}H_{32}O_{16}$.

Apresentações comerciais da sacarose

Segundo a Anvisa, o termo "açúcar" corresponde à sacarose extraída, sobretudo, da cana-de-açúcar e da beterraba. Mas pode ser usado para designar produtos obtidos de outras fontes ou compostos de diferentes dissacarídeos ou monossacarídeos.

Comercialmente, podemos encontrar diversos tipos de açúcares, como o refinado, o mascavo, o demerara e o invertido. Eles são submetidos a diversas etapas no processo de fabricação que afetam sua composição e propriedades organolépticas.

O açúcar mascavo passa por menos etapas de processamento em comparação aos demais, preservando os minerais e as vitaminas presentes na matéria-prima, e, como não é clarificado, apresenta coloração castanho-escura. O açúcar demerara é levemente refinado, o que o torna mais claro, mas não é clarificado; ele tem valor nutricional próximo ao do açúcar mascavo. Já o açúcar refinado, além de clarificado pela adição de SO_2 e $Ca(OH)_2$, passa por sucessivos processos de recristalização. Ao final, obtém-se um produto de alta pureza (> 99,5% de sacarose), com consequente perda de boa parte dos outros nutrientes.

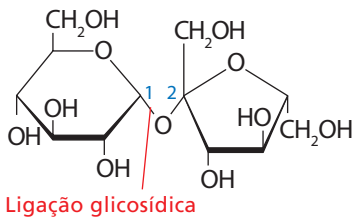
KITAMIN/ISTOCK/GETTY IMAGES

Da esquerda para a direita: açúcares demerara, refinado e mascavo.

Uma das aplicações importantes do açúcar refinado é como excipiente em formulações farmacêuticas. Como sua presença interfere menos na coloração e no sabor dos alimentos, ele também é bastante empregado na indústria alimentícia.

Em alguns alimentos, como bolos e biscoitos, é comum a presença de açúcar invertido. Quando as moléculas de sacarose em solução aquosa são aquecidas, ocorre a hidrólise da ligação glicosídica e, por isso, nesses produtos são encontradas moléculas de α-D-glicose e β-D-frutose.

As abelhas também são capazes de hidrolisar dissacarídeos durante a produção do mel. O termo "invertido" tem relação com a rotação óptica da solução observada antes e depois da hidrólise. Soluções de sacarose desviam o plano de vibração da luz polarizada para a direita, enquanto soluções equimolares de α-D-D-glicose e β-D-frutose o desviam para a esquerda.

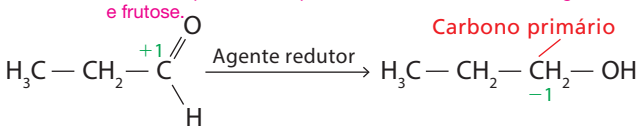


Representação da sacarose, em que a cadeia cíclica à esquerda é derivada da glicose e a cadeia cíclica à direita é derivada da frutose. Os números em azul indicam a posição dos átomos de carbono participantes da ligação glicosídica.

Açúcares redutores

Os aldeídos participam de reações químicas de oxirredução, pelas quais se obtêm álcoois primários. Observe o exemplo representado pela equação química simplificada a seguir.

Relembre os estudantes dos resultados obtidos na seção **Na prática** trabalhada no capítulo 17, em que foi verificado o desvio do plano da luz polarizada utilizando sacarose, glicose e frutose.



Propanal — Propan-1-ol

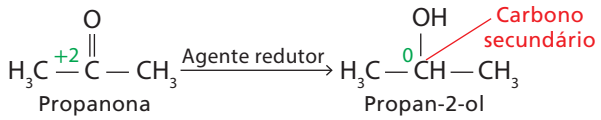
As reações de oxirredução são caracterizadas por transferências de elétrons entre um agente redutor, que se oxida no processo, e um agente oxidante, que se reduz. O número de oxidação (Nox), carga real ou hipotética que cada entidade química apresenta, está indicado em verde na equação química anterior para o átomo de carbono que participa da reação. Perceba a diminuição do Nox e o aumento da quantidade de átomos de hidrogênio.

No exemplo, C_3H_6O é convertido em C_3H_8O, composto em que o grupo hidroxila (— OH) está ligado a um átomo de carbono, que, por sua vez, está ligado apenas a um outro átomo de carbono. Denomina-se álcool primário aquele em que a hidroxila alcoólica está ligada a um átomo de carbono primário.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

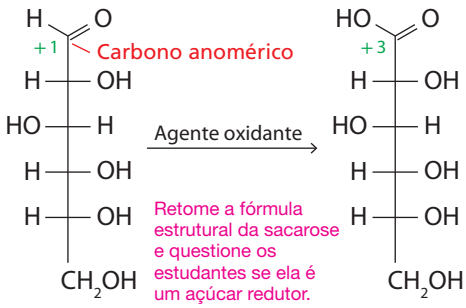
Conforme indicado na **atividade 10**, as cetoses também dão positivo no teste de Fehling. A razão é um rearranjo molecular que ocorre via tautomerização. Se julgar conveniente, mostre aos estudantes o intermediário enol comum à frutose e à glicose.

A redução das cetonas também permite a obtenção de álcoois, mas, diferentemente dos aldeídos, são formados álcoois secundários. Além disso, as cetonas são geralmente menos reativas que os aldeídos.



Dependendo das condições reacionais, os aldeídos também podem ser oxidados, formando ácidos carboxílicos (—COOH). Dessa forma, monossacarídeos e alguns dissacarídeos podem ser oxidados na presença de oxidantes relativamente moderados, como os íons Fe^{3+} e Cu^{2+}, reduzindo-os aos íons Fe^{2+} e Cu^{+}.

Observe o exemplo da glicose ($C_6H_{12}O_6$) formando ácido glucônico ($C_6H_{12}O_7$) a seguir. Note o aumento do Nox do carbono 1 (indicado em verde) e da quantidade de átomos de oxigênio no produto em comparação ao reagente.



Nas formas cíclicas, uma característica comum a todos os açúcares redutores é a presença de um grupo hidroxila ligado ao carbono anomérico.

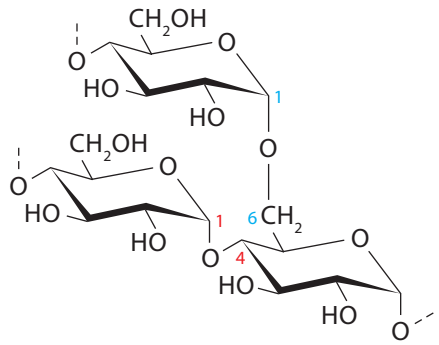
A oxidação da glicose pelo íon Cu^{2+} é a base do **teste de Fehling**. Esse teste foi utilizado por muito tempo para monitorar o nível de glicose em pessoas diagnosticadas com diabetes melito. Atualmente, é empregado um método enzimático, que é mais sensível e necessita de menor quantidade de amostra.

Polissacarídeos

Os polissacarídeos são a forma predominante de glicídios na natureza. Entre eles podemos destacar o amido, o glicogênio e a celulose. Essas macromoléculas são classificadas, em termos nutricionais, como **polissacarídeos energéticos** e **fibras alimentares** (ou dietéticas), dependendo da função que desempenham no organismo.

O amido e o glicogênio são polissacarídeos formados por unidades de α-D-glicose, os monômeros, e correspondem às principais reservas de energia das plantas e dos animais, respectivamente. Apesar de apresentarem a mesma composição química, têm propriedades físico-químicas distintas que decorrem da estrutura de cada macromolécula e do tipo de ligação entre os monossacarídeos que as formaram.

O **amido** é composto de dois tipos de polímeros de glicose: a **amilose**, que tem cadeia linear; e a **amilopectina**, que apresenta ramificações, em média, a cada 27 unidades de glicose. A estrutura do amido pode apresentar de 50 a 5 mil unidades de glicose na amilose e mais de 1 milhão na amilopectina.

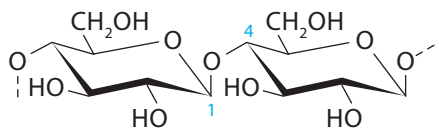


Representação de um fragmento de amilopectina. Os números coloridos indicam a posição dos átomos de carbono que participam das ligações glicosídicas. Na amilose não há a ramificação na posição 6 da unidade de α-D-glicose. Os tracejados indicam as extremidades em que a cadeia se estende.

Estruturalmente, o **glicogênio** é muito semelhante ao amido, apresentando vários pontos de ramificação em sua estrutura. No entanto, o glicogênio tem mais de 50 mil unidades de glicose, e nele as ramificações são mais frequentes que no amido: ocorrem, em média, a cada 10 unidades do monossacarídeo.

As **fibras alimentares** são macromoléculas poliméricas não degradadas pelas enzimas digestórias humanas. Por não serem digeríveis, elas não têm valor calórico; no entanto, desempenham outros papéis fisiológicos importantes, relacionados à sua viscosidade e à possibilidade de serem fermentadas pela microbiota intestinal. Além de polissacarídeos, como a celulose e a pectina, as fibras alimentares incluem outro tipo de biopolímero: a lignina.

A **celulose** é um polissacarídeo constituído de moléculas de β-D-glicose, e o tipo de ligação química que ocorre entre elas origina uma estrutura linear, que forma extensas fibras insolúveis em água. Elas podem chegar a apresentar de mil a 14 mil unidades do monossacarídeo. Essa fibra ajuda a formar o bolo fecal, o que contribui para seu efeito laxante.



Representação de um fragmento de celulose. Os números em azul indicam a posição dos átomos de carbono participantes da ligação glicosídica. Os tracejados indicam as extremidades em que a cadeia se estende.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Registre em seu caderno

EM FOCO

Epidemia de diabetes em indígenas em MT

[Indígenas] xavantes das terras indígenas de Sangradouro e São Marcos, em Mato Grosso, estão sofrendo uma epidemia de diabetes, com índices de prevalência da doença em 28,2% da população adulta – valor quatro vezes maior que a média no país. A constatação é de uma pesquisa desenvolvida com 948 adultos das duas terras indígenas.

[...]

Com base nas medições de glicemia entre os [indígenas], os pesquisadores constataram prevalência de diabetes do tipo 2 em 18,4% dos adultos homens e em 40,6% das mulheres. Os índices extrapolam significativamente a média de prevalência da doença na população brasileira em geral, que é de 7%, enfatiza o pesquisador João Paulo Botelho [...].

Ao lado dos pesquisadores Regina Moisés e Laércio Franco, Botelho identificou também que 32,3% da população de Sangradouro e São Marcos já possuem predisposição a desenvolver diabetes porque apresentaram índices glicêmicos alterados.

Somado à prevalência do diabetes na população xavante, o índice de glicemia alterada aponta que pelo menos 60,5% dos índios de Sangradouro e São Marcos apresentam distúrbios. E o quadro se agrava ainda mais com a constatação de que 50,8% dos [indígenas] estudados já sofrem de obesidade.

[...]

Alimentação e genética

Segundo o pesquisador, entre os fatores que provocaram os atuais índices de obesidade e de prevalência de diabetes entre os xavantes estão a predisposição genética e os processos de perda da cultura alimentar nas aldeias, bem como o sedentarismo.

[...]

A essa predisposição genética para acúmulo de gordura somam-se o processo de perda dos tradicionais hábitos alimentares e o sedentarismo. Dados o contato com a população das cidades no entorno e o acesso a itens comercializados, aos poucos os indígenas abandonaram sua rotina de caça e coleta e de cultivo em pequenas roças de alimentos como mandioca, cará, abóbora, batata doce, feijão e milho, entre outros.

Tem sido comum o consumo de refrigerantes, salgadinhos industrializados, pães, biscoitos, doces e demais produtos comercializados que se tornaram fáceis de se obter e que já são parte do cotidiano dos xavantes por conta do acesso ao dinheiro. Obtendo os alimentos no comércio, os [indígenas] deixaram de buscá-los na natureza e vêm se tornando cada vez mais sedentários [...].

"Eles eram coletores e caçadores por milênios e andavam atrás de comida todo dia. Depois, começaram com as pequenas roças de subsistência, mas não conheciam o açúcar que nós consumimos. Esse açúcar de absorção rápida é uma tragédia para eles. Eles têm de voltar à sua dieta tradicional", insiste o pesquisador.

Tentativa de reversão

Faz mais de 10 anos que os indigenistas que acompanham esses indígenas na região do Araguaia vêm tentando mudar esse quadro, segundo Gabriel Gomes Muria, da Fundação Nacional do Índio (Funai), que atua em Barra do Garças [...].

Para ele, esse é um dos maiores desafios das equipes de saúde que atuam junto ao povo Xavante dessa região. "Na última década houve uma transformação na forma de trabalhar a segurança alimentar dos povos indígenas, porque o caminho que estava tomando estava criando uma dependência da estatal", disse, ao citar que, atualmente, o arroz branco adquirido nos supermercados tem sido a principal base alimentar dos [indígenas].

Fonte: DIÓZ, R. Carboidrato e sedentarismo deixam índios diabéticos em MT, diz pesquisa. **G1**, 12 ago. 2015. Disponível em: https://g1.globo.com/mato-grosso/noticia/2015/08/carboidrato-e-sedentarismo-deixam-indios-diabeticos-em-mt-diz-pesquisa.html. Acesso em: 17 out. 2024.

ODS 2

1. Que mudanças têm ocorrido nos hábitos alimentares tradicionais dos Xavante com o passar dos anos? Cite pelo menos um fator que contribui para essas mudanças.
2. Que ações podem ajudar no controle da epidemia de diabetes entre os Xavante?
3. Analise os impactos socioambientais da dependência dos povos indígenas em relação ao arroz branco adquirido nos supermercados. Discuta como essa dependência pode afetar a autonomia e a sustentabilidade desses povos e proponha uma prática alternativa que poderia ser adotada para promover a segurança alimentar sustentável.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

3. Leia o texto a seguir.

> Técnicos começaram na manhã desta quarta-feira o recolhimento do que restou do caminhão e da carga incendiados após explosão na Freeway, em Gravataí, na noite de terça. Segundo a engenheira química Daniele da Cunha, responsável técnica do Sindicato dos Transportadores de Cargas Perigosas do RS, a carga despejada no meio ambiente representa risco para as pessoas e para o equilíbrio ecológico.
>
> O produto metil-etil-cetona, um tipo de solvente que era transportado no veículo, é tóxico, além de inflamável e corrosivo, e pode provocar náuseas, enjoo e outros efeitos colaterais em caso de inalação. Por isso, os técnicos que trabalham no local usam máscaras e outros equipamentos de proteção.
>
> [...]
>
> **Fonte:** "SOLO e água foram contaminados", afirma engenheira química sobre explosão de caminhão na Freeway. **Zero Hora**, Porto Alegre, 29 fev. 2012. Disponível em: https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2012/02/solo-e-agua-foram-contaminados-afirma-engenheira-quimica-sobre-explosao-de-caminhao-na-freeway-3679571.html. Acesso em: 16 ago. 2024.

Com base nas informações contidas no texto, responda:

a. Qual é a fórmula molecular do composto?

b. Outro nome possível para o composto citado é butanona. Explique por que não é necessário indicar a posição do grupo funcional nessa molécula.

4. Indique, em seu caderno, se as afirmações são verdadeiras ou falsas e justifique sua resposta.

I. O termo "carboidrato" indica que a estrutura molecular dessas substâncias apresenta uma cadeia carbônica na qual se associam moléculas de água.

II. A função do glicogênio no organismo humano é a mesma do amido nos vegetais.

5. Durante a fase de amamentação, uma mulher pode apresentar pequenas quantidades de lactose na urina, dando um falso positivo para testes de diabetes. Qual é a razão para a ocorrência desse falso positivo?

6. Se você mantiver um pedaço de pão na boca por alguns minutos, vai perceber que ele começará a desprender um sabor adocicado. Elabore uma explicação para esse fato. Se desejar, solicite ao professor auxílio para realizar uma breve pesquisa sobre o assunto e também experimentos em sala de aula com os colegas.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

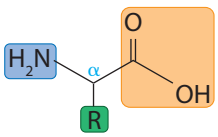
Proteínas

As **proteínas** (do grego *protos* = a primeira, a mais importante) são macronutrientes que exercem as mais variadas funções, destacando-se: catálise (enzimas); transporte (hemoglobina); imunidade (anticorpos); hormônios (insulina e glucagon); movimento (actina e miosina); estrutural (colágeno); e neurotransmissão (galanina).

Na maior parte da cultura ocidental, a ingestão de proteínas decorre principalmente do consumo de produtos de origem animal – carne, ovos, leite e derivados. Entretanto, alguns grãos, como o feijão e a soja, são fontes ricas desses nutrientes. Quando digeridas, além de energia, as proteínas fornecem aminoácidos utilizados para sintetizar as proteínas que constituem nosso organismo. Todas as proteínas presentes tanto nas bactérias quanto em organismos mais complexos são constituídas, majoritariamente, de vinte tipos de aminoácidos, que se combinam por meio de ligações covalentes.

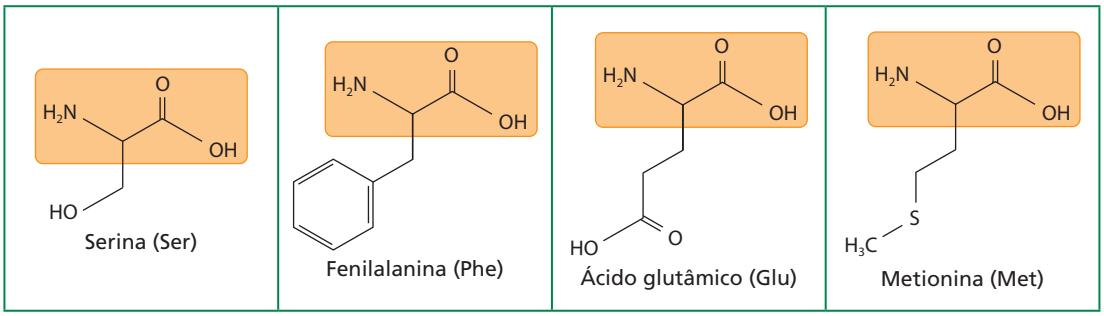
Aminoácidos

Os **aminoácidos** apresentam em sua estrutura um grupo amino (—NH_2), um grupo carboxila (— COOH), uma cadeia lateral de natureza química variada (R) e um átomo de hidrogênio, todos ligados ao mesmo átomo de carbono (denominado **carbono α**).



Os aminoácidos classificados como essenciais só podem ser obtidos dos alimentos, enquanto os não essenciais podem ser sintetizados no organismo. Observe alguns exemplos de aminoácidos na tabela a seguir.

Exemplos de aminoácidos

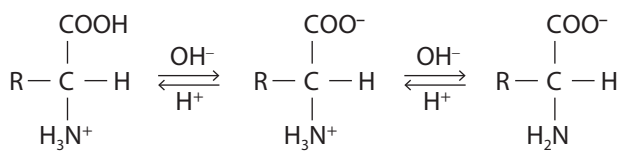


* A parte destacada em laranja corresponde à porção comum entre os aminoácidos. A abreviatura entre parênteses corresponde ao código de três letras do aminoácido.

Fonte: elaborado com base em NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de Bioquímica de Lehninger**. Tradução Ana Beatriz G. da Veiga *et al*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2014.

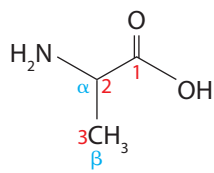
Nas representações, os grupos amino e carboxila destacados são comuns a todos. Já a cadeia lateral diferencia cada um deles. No aminoácido glicina, por exemplo, o grupo R é um átomo de hidrogênio. As características da cadeia lateral, como a presença de grupos ionizáveis e seu tamanho, influenciam a estrutura e as propriedades das proteínas. Compare as cadeias laterais dos aminoácidos fenilalanina e ácido glutâmico. A fenilalanina apresenta uma cadeia derivada de hidrocarboneto, o que diminui a polaridade da molécula, ao passo que o ácido glutâmico apresenta uma carboxila, o que torna esse aminoácido mais polar. As aminas são estudadas no capítulo 15.

Os aminoácidos são **anfóteros**, ou seja, podem se comportar como ácidos ou como bases, em razão da presença dos grupos carboxila e amino em sua estrutura, conforme representação a seguir. Em solução aquosa, o meio é considerado ácido quando a concentração de íons H^+ é maior que a de íons OH^-, e é consideradobásico na situação oposta. Esse assunto será estudado no próximo capítulo.



Meio ácido Meio básico

O nome sistemático dos aminoácidos, compostos que apresentam mais de uma função orgânica como os glicídios, é obtido considerando-se o grupo carboxila como principal e indicando-se a presença do grupo amino como um substituinte. A identificação dos átomos de carbono na cadeia principal pode ser feita com algarismos arábicos, em que o carbono 1 é o do grupo carboxila, ou com letras gregas, em que o carbono alfa (α) é o adjacente ao grupo carboxila, o carbono beta (β) é adjacente ao alfa, e assim sucessivamente. Observe o exemplo do aminoácido alanina (Ala) a seguir.



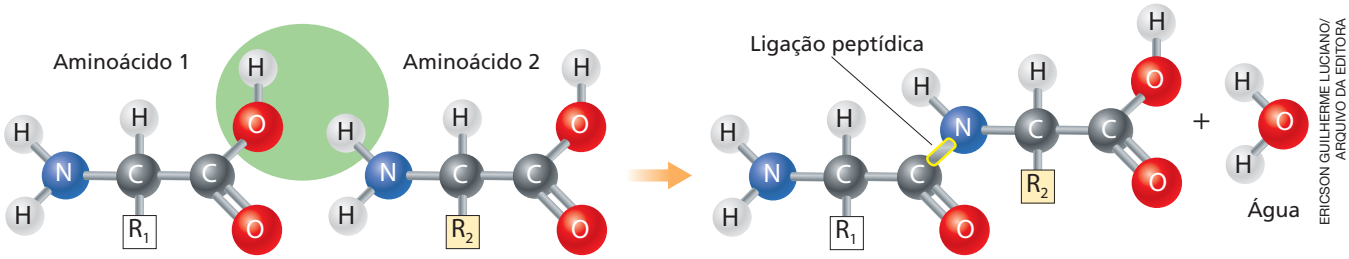
Assim, o nome sistemático da alanina pode ser ácido 2-aminopropanoico ou ácido α-aminopropanoico.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Ligações peptídicas

Os polímeros sintéticos são estudados no capítulo 16.

Os aminoácidos se unem formando macromoléculas que, assumindo a conformação espacial adequada, formam as proteínas. A união entre os aminoácidos se dá por meio da formação da **ligação peptídica**, que ocorre entre o grupo amino de um aminoácido e a carboxila de outro, com eliminação de uma molécula de água, como representado a seguir. Esse processo pode ser considerado uma reação de condensação, como ocorre na formação de polímeros sintéticos como as fibras de náilon e de aramida.



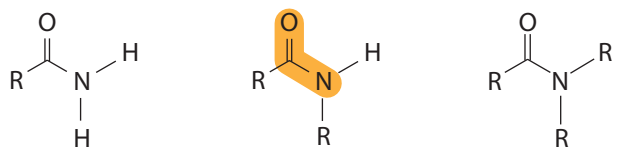
ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática da formação da ligaçãopeptídica. Dois aminoácidos se unem produzindo um dipeptídeo. R_1 e R_2 indicam um átomo de hidrogênio ou uma cadeia carbônica. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Com a formação da ligação peptídica, outro grupo funcional é formado. Nele, a carbonila está ligada a um átomo de nitrogênio. Compostos que apresentam esse grupo em suas estruturas recebem o nome **amida**.

Amidas

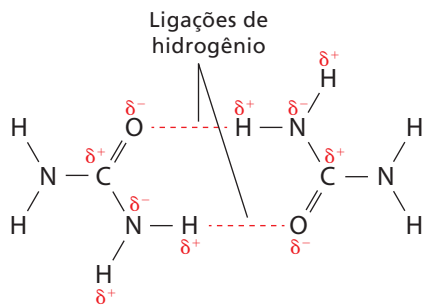
Com base na estrutura geral dos peptídeos, é possível representar o grupo funcional das amidas de forma genérica, em que R indica um substituinte orgânico. De acordo com o número de substituintes, a amida pode ser classificada como primária, secundária e terciária, conforme indicam as fórmulas estruturais a seguir. Note que na ligação peptídica forma-se uma amida secundária.



Amida primária (não substituída) | Amida secundária (monossubstituída) | Amida terciária (dissubstituída)

Na nomenclatura sistemática das amidas, utiliza-se como sufixo o próprio nome da classe funcional. Nas amidas secundárias e terciárias, o(s) grupo(s) ligado(s) ao átomo de nitrogênio é(são) localizado(s) pela indicação do símbolo desse elemento químico em itálico, *N*.

As moléculas de amidas primárias e secundárias podem interagir entre si e com moléculas de água por meio de **ligações de hidrogênio**. Já as moléculas de amidas terciárias interagem entre si por **forças de Keesom** (dipolo permanente-dipolo permanente), menos intensas, embora possam estabelecer ligações de hidrogênio com moléculas de água.



Representação de ligações de hidrogênio entre duas moléculas de ureia $(NH_2)_2CO$. Essa diamida é solúvel em água e eliminada pela urina de alguns animais, como produto da degradação de proteínas.

Estrutura e função das proteínas

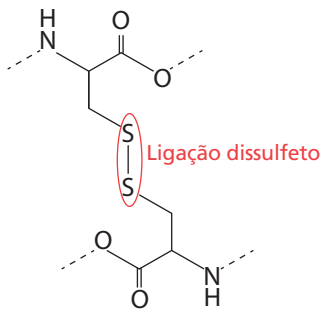
A função de uma proteína depende diretamente da disposição espacial dos aminoácidos que formam o peptídeo. Esse arranjo espacial varia de acordo com a sequência de aminoácidos, com eventuais modificações em suas cadeias laterais e com as interações intramoleculares e intermoleculares formadas por eles.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Níveis de organização da estrutura das proteínas

Para demonstrar os níveis de organização da estrutura das proteínas, vamos analisar a **insulina**, um hormônio secretado pelo pâncreas que sinaliza a absorção de moléculas de glicose pelas células. Quando há excesso desse monossacarídeo na corrente sanguínea (hiperglicemia), a insulina atua na síntese de glicogênio, que pode ser armazenado nos músculos ou no fígado. Em quadros de hipoglicemia, o pâncreas secreta outro hormônio proteico, o **glucagon**, que sinaliza para a degradação do glicogênio armazenado e restaura os níveis de glicose no sangue.

O primeiro nível de organização é chamado **estrutura primária** e diz respeito à sequência de aminoácidos das cadeias polipeptídicas. A insulina é formada por duas cadeias polipeptídicas, uma contendo 21 aminoácidos, e a outra, 30 aminoácidos. Entre as duas cadeias se estabelecem ligações entre átomos de enxofre conhecidas como **ligações dissulfeto** (S — S). Esse tipo de ligação ocorre entre as cadeias laterais de pares de cisteínas (Cys).



Representação da ligação dissulfeto entre dois aminoácidos cisteína. Os tracejados indicam as extremidades em que a cadeia se estende.

Fonte: BRUICE, P. Y. **Organic Chemistry**. 4th ed. New Jersey: Pearson Education, 2003.

Representação simplificada da estrutura primária da insulina humana. Cada esfera representa a estrutura de um aminoácido, identificado pela respectiva abreviatura. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Ressalte que a estrutura primária tem relação com as ligações covalentes. Comente que a formação das ligações dissulfeto ocorre por oxirredução e peça aos estudantes, como atividade complementar, que determinem a variação do Nox do enxofre no processo.

O segundo nível de organização das proteínas leva em conta as interações intermoleculares entre os grupos amida e é conhecido como **estrutura secundária**. Dependendo da sequência de aminoácidos, padrões estruturais são formados ao longo da cadeia. Entre esses padrões, temos as α-hélices e as alças, que aparecem na insulina. O terceiro nível, denominado **estrutura terciária**, é resultado das interações intermoleculares dos aminoácidos com o solvente. É na estrutura terciária que observamos as posições relativas dos padrões estruturais formados no segundo nível. Por fim, quando a proteína apresenta mais de uma cadeia polipeptídica, o arranjo espacial entre elas corresponde à **estrutura quaternária**, o quarto nível hierárquico.

Desnaturação

Mudanças na estrutura das proteínas, na maioria das vezes, resultam na perda da atividade biológica. Esse fenômeno é conhecido como **desnaturação** da proteína e pode ocorrer em razão do aumento de temperatura do meio; do estresse mecânico (por exemplo, por agitação ou trepidação); da concentração de sais no meio, cujos íons se ligam às regiões de cargas opostas presentes nas cadeias laterais dos aminoácidos; e da alteração da concentração dos íons H^+ no meio. Todos esses processos perturbam as interações intra e intermolecular formadas entre os aminoácidos, alterando a estrutura tridimensional da proteína.

Algumas proteínas podem restabelecer sua estrutura ativa ao serem ressubmetidas às condições anteriores à desnaturação, mas na maioria dos casos a desnaturação é um processo irreversível.

Enzimas

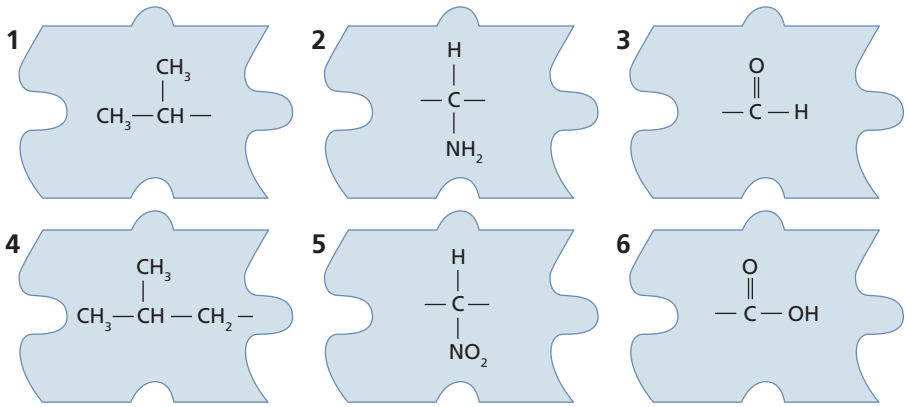
As **enzimas** são, geralmente, proteínas que atuam como catalisadores nos organismos e em processos produtivos, aumentando a rapidez das reações químicas. Assim como acontece com os hormônios peptídicos, a atividade biológica das enzimas depende diretamente de sua estrutura tridimensional, além da estrutura molecular do **substrato**, que é o reagente da reação catalisada. Enzimas pertencentes à classe das proteases promovem a hidrólise de ligações peptídicas e, por isso, podem ser usadas na culinária para amaciar carnes – por exemplo, a bromelina (presente no abacaxi) e a papaína (encontrada no mamão). Outra protease, a pepsina, é componente do suco gástrico e pode ser empregada como medicamento para auxiliar na digestão.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

7. Um professor de Química entregou aos estudantes um quebra-cabeça com as seguintes peças, numeradas de 1 a 6.



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Determine uma sequência de peças, da esquerda para a direita, que forme um aminoácido.

8. Desenhe em seu caderno a fórmula estrutural plana do dipeptídio alanina-valina e destaque o grupo amida característico da ligação peptídica.

9. (Enem) Na década de 1940, na Região Centro-Oeste, produtores rurais, cujos bois, porcos, aves e cabras estavam morrendo por uma peste desconhecida, fizeram uma promessa, que consistiu em não comer carne e derivados até que a peste fosse debelada. Assim, durante três meses, arroz, feijão, verduras e legumes formaram o prato principal desses produtores.

O Hoje, 15 out. 2011 (adaptado).

Para suprir o déficit nutricional a que os produtores rurais se submeteram durante o período da promessa, foi importante eles terem consumido alimentos ricos em: 9. Alternativa **d**.

a. vitaminas A e E.
b. frutose e sacarose.
c. aminoácidos naturais.
d. aminoácidos essenciais.
e. ácidos graxos saturados.

Micronutrientes

Os micronutrientes são necessários para manter o organismo desempenhando suas funções de forma adequada. No grupo dos micronutrientes estão as **vitaminas** e os **minerais**.

Vitaminas

O termo **vitamina** foi cunhado em 1912 pelo bioquímico polonês Casimir Funk (1884-1967), que acreditava que esse nutriente fosse uma "amina vital" ao organismo. Hoje, sabemos que nem todas as moléculas de vitaminas apresentam o grupo amino em sua composição. Essas substâncias são essenciais para o metabolismo, exercendo funções importantes, como o fortalecimento dos ossos e o controle da atividade hormonal.

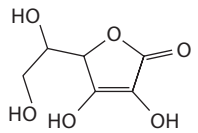
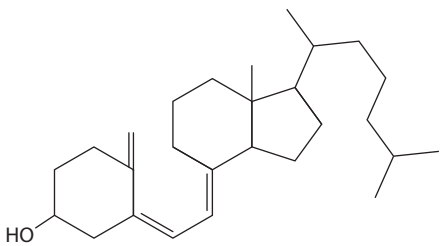
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

As vitaminas são classificadas em **hidrossolúveis** e **lipossolúveis**, de acordo com suas propriedades físico-químicas. No primeiro grupo estão aquelas que se dissolvem bem em água, mas não em óleos e gorduras, pois têm estrutura altamente polar. Essa característica não permite que as vitaminas do complexo B e a vitamina C sejam armazenadas no organismo. Por isso, elas devem ser obtidas por meio da alimentação, diariamente.

As vitaminas lipossolúveis (A, D, E e K) se dissolvem bem em óleos e gorduras, mas não em água, pois têm estrutura predominantemente apolar. Essas vitaminas são lipídios que não apresentam ácidos graxos em sua composição. Elas podem ser estocadas no tecido adiposo; por isso, o consumo excessivo, acima da ingestão diária recomendada (IDR), leva a quadros clínicos de hipervitaminose. Por exemplo, o excesso de vitamina A pode ocasionar danos ao fígado, aos rins e aos ossos.

Na tabela a seguir, podemos conferir um exemplo das duas classes de vitamina, suas principais fontes alimentares, a IDR e os sintomas causados pela ausência desses compostos no organismo (avitaminose).

Alguns exemplos de vitaminas

Nome e fórmula estrutural	Fontes	IDR*
Vitamina C (ácido ascórbico)  Hidrossolúvel	Frutas cítricas, brócolis, tomate e pimenta.	45 mg
Vitamina D (colicalciferol)  Lipossolúvel	Ovos, queijo, leite, sardinha, salmão e óleo de peixes.	5 µg (10 µg**)

* Para adultos.
** Para maiores de 65 anos.

Fontes: elaborado com base em BELITZ, H.-D. **Food Chemistry**. 4th ed. rev. e aum. Berlin: Springer, 2009; BRASIL. Ministério da Saúde. Anvisa. **Resolução-RDC nº 269, de 22 de setembro de 2005**. Brasília: Anvisa, 2005.

Ação antioxidante

O envelhecimento e o aparecimento de diversas doenças, como o câncer, estão relacionados à ação de radicais livres no organismo. O combate aos radicais livres e a prevenção dessas doenças têm sido atribuídos a substâncias encontradas nos alimentos, entre as quais estão algumas vitaminas. Podemos citar a vitamina B_2, presente no leite; os terpenoides, como as vitaminas E e K, presentes em grãos e em vegetais escuros; e os carotenoides, como a vitamina A e o licopeno, presentes em alimentos com pigmentação amarela, laranja ou vermelha (pimentão, laranja, abóbora, tomate etc.). Outras classes de substâncias naturais com propriedades antioxidantes são os limonoides, como a limonina, encontrados nas cascas de frutas cítricas; e as antocianinas, como a cianidina, encontradas em vegetais de cores roxa, azul ou violeta (berinjela, uva, cereja, açaí etc.).

Os minerais

A Química dos Alimentos define os **minerais** como os constituintes das cinzas restantes da combustão de tecidos animais e vegetais. Nesse material, os elementos químicos principais são sódio (Na), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), cloro (Cℓ) e fósforo (P), com IDR > 250 mg por dia. Os menos abundantes, ou elementos-traço, são ferro (Fe), iodo (I), flúor (F), zinco (Zn), cobalto (Co) e selênio (Se), entre outros. Todos eles são essenciais e necessários para o bom funcionamento do organismo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A tabela a seguir apresenta algumas informações sobre os minerais.

Alguns minerais essenciais para o nosso organismo

Elemento químico	Presença no organismo ($g\ kg^{-1}$)	IDR	Funções	Fontes alimentares
Cálcio	20	1 g (1,5 g*)	Constituição de ossos, contração muscular.	Leite e derivados, sardinha e frutos do mar.
Ferro	0,06	14 mg	Constituinte da hemoglobina (transporte gasoso) e enzimas (catalase).	Carnes, fígado, feijão, lentilhas e vegetais como o espinafre.
Potássio	2	780 mg	Regulação de líquidos corporais, contração muscular.	Carnes, leite, cereais integrais, vegetais.
Sódio	1,5	1,5 g	Regulação de líquidos corporais, ativador de enzimas (amilase).	Sal de cozinha e alimentos marinhos.

* Para maiores de 65 anos.

Fontes: elaborado com base em BELITZ, H.-D. **Food Chemistry**. 4th ed. rev. e aum. Berlin: Springer, 2009; BRASIL. Ministério da Saúde. Anvisa. **Resolução-RDC nº 269, de 22 de setembro de 2005**. Brasília: Anvisa, 2005.

Na tabela, observamos que uma pessoa adulta precisa ingerir, em média, 14 mg de ferro por dia. No entanto, para o funcionamento adequado do organismo, apenas cerca de 2 mg são necessários. Como pode ser explicada essa aparente incongruência entre as informações?

Interação entre vitaminas e minerais

A absorção dos minerais não está associada unicamente à quantidade consumida, mas também à **biodisponibilidade** do elemento químico.

O ferro está presente nos alimentos na forma dos íons Fe^{2+} e Fe^{3+}. Entretanto, nosso organismo absorve apenas o cátion bivalente, classificado como **biodisponível**. A absorção ocorre no intestino delgado, local em que a concentração de íons OH^- é maior do que no estômago. Os íons Fe^{2+} são então oxidados a íons Fe^{3+}, que formam hidróxido de ferro(III), $Fe(OH)_3$, composto insolúvel e que, por isso, não é absorvido pelo organismo. Apenas cerca de 20% a 30% do ferro ingerido por meio do consumo de carnes vermelhas é de fato absorvido.

A biodisponibilidade do ferro pode ser aumentada se a ingestão de alimentos ricos nesse mineral for acompanhada de alimentos que forneçam vitamina C.

CAIOLOURENCOS/SHUTTERSTOCK

A feijoada é um prato típico do Brasil que contém alimentos ricos em ferro. Ao consumi-la acompanhada de frutas cítricas, como a laranja, estamos aumentando a biodisponibilidade do ferro.

Além de reduzir os íons ferro(III) à sua forma bivalente, a vitamina C também se liga aos íons ferro(II), evitando que sejam oxidados no intestino e garantindo a absorção desse mineral.

Também existem alimentos que reduzem a biodisponibilidade dos minerais. Por exemplo, algumas proteínas presentes na gema dos ovos formam compostos insolúveis com o ferro. Podemos citar também o ácido oxálico ($C_2H_2O_4$), um ácido dicarboxílico que reduz a biodisponibilidade do ferro e do cálcio ingeridos.

Vitaminas e minerais são essenciais e agem em conjunto para o bom funcionamento do organismo. Entretanto, a suplementação desses nutrientes, na forma de comprimidos ou bebidas concentradas, deve ser feita apenas sob orientação de um profissional da saúde habilitado, evitando riscos à saúde.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A energia dos alimentos

Na maioria das culturas, a alimentação está presente no cotidiano e em momentos de celebração. Além dos nutrientes essenciais para a formação da estrutura corporal, é por meio da ingestão de alimentos que obtemos energia.

Os alimentos presentes em nossas refeições e a forma como são preparados refletem um pouco da história do Brasil. A culinária típica brasileira é muito rica em suas apresentações e preparações, influenciada por diversas culturas.

Na época da chegada dos colonizadores ao Brasil, o consumo da mandioca, ou macaxeira, era comum entre os indígenas, mas não entre os portugueses, que aos poucos foram incorporando esse ingrediente e adaptando-o às suas receitas. A chegada dos portugueses também introduziu novos alimentos no país. Por exemplo, a laranja e o limão foram trazidos de Portugal; o inhame e a banana provavelmente foram trazidos do continente africano; e o gengibre e a cana-de-açúcar são de origem asiática.

Muitas preparações culinárias que conhecemos hoje têm influência dos hábitos alimentares dos diferentes grupos indígenas. Algumas dessas influências são a tapioca, o beiju, o tucupi e o pirão, preparados a partir da mandioca; as diferentes formas como usamos o milho e o palmito de pupunha; o consumo de diversas frutas, como caju, cacau, cupuaçu e açaí; além dos temperos, como o urucum e a pimenta jiquitaia. Os indígenas conheciam, inclusive, processos de fermentação e produziam bebidas alcoólicas, como o caxiri, feito também da mandioca.

Informe aos estudantes que a caloria é a unidade de calor mais frequentemente utilizada na Nutrição, enquanto o joule é a unidade de calor utilizada na Termodinâmica.

A quantidade de energia utilizada diariamente por uma pessoa depende de sua constituição física, de seu perfil metabólico e de sua rotina. De modo geral, um indivíduo adulto necessita de cerca de 8.400 kJ, ou 2.000 kcal, por dia. Essa energia é necessária para manter as diversas funções do organismo, como ventilação pulmonar, circulação sanguínea e manutenção da temperatura corporal, além de atividades cotidianas, como trabalhar, estudar, conversar e praticar esportes.

A maior parte da energia de que nosso corpo precisa é obtida por meio da ingestão de glicídios, lipídios e proteínas. Cada grama de glicídio e de proteína fornece, em média, 17 kJ de energia, ao passo que um grama de lipídio libera, em média, 38 kJ.

A tabela a seguir reúne informações relativas à composição percentual de macronutrientes em alguns alimentos e à quantidade de energia liberada na queima de 1 g desses alimentos.

Composição e valor energético de alguns alimentos

Alimento	Composição (% em massa)			Valor energético	
	Glicídio	Lipídio	Proteína	kJ g^{-1}	kcal g^{-1}
Arroz integral cozido	25,8	1,0	2,6	5,17	1,24
Alface-americana	1,7	0,1	0,6	0,37	0,09
Batata frita	35,6	13,1	5,0	11,18	2,67
Laranja-pera	8,9	0,1	1,0	1,54	0,37
Manteiga com sal	0,1	82,4	0,4	30,37	7,26
Frango sem pele cozido	0	7,1	25,0	7,13	1,70

Fonte: elaborado com base em UNICAMP. **Tabela Brasileira de Composição dos Alimentos (Taco)**. Campinas, 2011. Disponível em: https://www.cfn.org.br/wp-content/uploads/2017/03/taco_4_edicao_ampliada_e_revisada.pdf. Acesso em: 20 ago. 2024.

Percentual de macronutrientes e valor energético de alguns alimentos.

Podemos observar na tabela que massas iguais de diferentes alimentos apresentam conteúdos energéticos distintos. Isso sugere que a diferença não está relacionada à massa do alimento, mas sim às diferentes substâncias que o compõem.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A quantidade de energia de que o corpo necessita varia de acordo com a massa corpórea, a idade e as atividades cotidianas. A tabela a seguir apresenta o gasto energético aproximado de algumas dessas atividades.

Gasto energético aproximado de algumas atividades

Atividade	Gasto energético (kcal kg^{-1} h^{-1})
Dormir	1,2
Escrever (sentado)	1,7
Caminhar (4 km h^{-1})	3
Jogar futebol	7
Correr (18 km h^{-1})	13,2

Fonte: elaborado com base em WARDLAW, G. M.; SMITH, A. M. **Nutrição contemporânea**. 8. ed. Porto Alegre: McGrawHill, 2013.

Comparação do gasto energético de diferentes atividades.

A relação entre a energia obtida por meio dos alimentos e a energia gasta para a realização de atividades mentais e físicas é conhecida como **balanço energético**.

As tabelas nutricionais permitem calcular esse balanço energético e adequar as quantidades e os tipos de alimento ao estilo de vida de cada indivíduo. Nutricionistas e nutrólogos são alguns dos profissionais da saúde capacitados para dar esse tipo de orientação.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

10. Um sanduíche com hambúrguer de 200 g contém 40% de água, 16% de proteínas, 14% de gorduras e 30% de carboidratos. Que porcentagem de sua necessidade energética diária esse sanduíche representa para uma pessoa que gasta 2.000 kcal/dia? (Considere que carboidratos e proteínas forneçam 4 kcal/g; gorduras e óleos forneçam 9 kcal/g).

11. (Unicamp-SP) A obesidade está se tornando um problema endêmico no mundo todo. Calcula-se que em 2050 um terço de todos os homens e a metade das mulheres serão obesos. Considere a promoção de uma lanchonete, composta de um lanche, uma porção de fritas, uma torta de maçã e 500 mL de refrigerante. A tabela a seguir resume as quantidades (em gramas) de alguns grupos de substâncias ingeridas, conforme aparecem nas embalagens dos produtos.

Grupo/produto	Lanche	Porção de batata	Torta de maçã
carboidratos	36	35	33
proteínas	31	4,1	2,2
gorduras totais	32	15	11
cálcio	0,28	0,11	0,33
sódio	1,22	0,31	0,18

a. Considerando-se um valor diário de referência em termos de energia (VDE) de 8.400 kJ, que percentual desse VDE foi atingido apenas com essa refeição? Considere a energia por grama de lipídeos igual a 38 kJ e a de açúcares e proteínas igual a 17 kJ. Considere também que cada 100 mL de refrigerante contém 11 gramas de açúcar.

b. Considerando-se que o consumo diário máximo de sal comum (recomendado pela OMS) é de 5,0 gramas por dia, esse limite teria sido atingido apenas com essa refeição? Justifique sua resposta.

12. Assim como a falta, o excesso de vitamina A pode fazer mal à saúde. Eliminá-la do organismo é uma tarefa muito mais complicada do que eliminar a vitamina C, por exemplo. Dessa forma, é possível ocorrer intoxicação por vitamina A (condição de hipervitaminose A), o que pode ocasionar pele seca, náusea, icterícia, irritabilidade, perda de apetite, vômito, visão turva, dor de cabeça, fraqueza, dor muscular e abdominal, sonolência e estado mental alterado. Explique a dificuldade em eliminar essa vitamina do organismo.

TRABALHO E JUVENTUDES

A importância dos jovens para a agricultura no Brasil

Jovens produtores agropecuários de todo o país estão preocupados com a sucessão rural, ou seja, a permanência deles no campo para "tocar" a propriedade da família. [...]

Frutas, verduras, mel, geleias e ovos, por exemplo, fazem parte do rol de mercadorias desses jovens agricultores. Gente como Wilians Santana, de 25 anos, que produz café no município de São Miguel do Guaporé (RO), região que tem um produto premiado internacionalmente e exportado para a Europa. Ele destaca a importância do avanço da tecnologia para a busca de uma produção sustentável.

"Hoje a propriedade rural é vista como um atraso. Mas a gente, enquanto juventude agricultora, está provando mais uma vez que queremos permanecer nas nossas propriedades fazendo a sucessão rural, que é dar continuidade ao trabalho que a nossa família vem exercendo", disse. Segundo ele, mesmo estando numa pequena propriedade, o agricultor jovem faz uso da tecnologia para que se possa ganhar um espaço de produção em pequena quantidade. "Hoje, minha propriedade é de 2 **alqueires**, e nesses 2 alqueires eu tenho quase 9 mil pés de café", disse.

[...]

Membro de uma família de agricultores familiares, o deputado Carlos Veras [...] dá exemplos de políticas públicas que seriam importantes para manter os jovens de hoje nas zonas rurais dos municípios.

"A gente precisa de estradas de qualidade, de internet, de assistência técnica, de apoio à produção e à comercialização, de crédito e de acesso à terra", observou. Veras lembrou que a agricultura familiar entrega produtos de alta qualidade, mas ainda num pedaço de terra muito pequeno. "É preciso apoiar a organização das cooperativas, das associações de jovens, para poder ampliar a produção e garantir a sucessão rural e a soberania alimentar", completou.

Jaciara Muller, de 32 anos, é de Montenegro (RS). Secretária-geral e coordenadora estadual de Jovens da Federação dos Trabalhadores Rurais do seu estado, [...] salienta o anseio de muitos jovens de continuar o trabalho da família no campo, mesmo quando os pais os incentivam a sair das propriedades rurais e ir procurar emprego nas zonas urbanas.

"Nós temos muitos jovens que vão até a cidade, se profissionalizam para voltar para o meio rural. Eles vão fazer suas faculdades e voltam para serem agrônomos, para serem veterinários, para poder tocar a propriedade. Eles buscam conhecimento para poder dar continuidade no que já vem acontecendo na sua propriedade, ou ainda eles querem introduzir coisas novas na produção", disse.

[...]

Alqueires: Plural de *alqueire*. Unidade de medida de superfície agrária que apresenta duas variáveis, o alqueire paulista, que equivale a 24,2 mil m^2, e o alqueire mineiro, que equivale a 48,4 mil m^2.

Fonte: JOVENS agricultores reivindicam políticas públicas para garantir permanência no campo. **Agência Câmara de Notícias**, Brasília, 28 mar. 2023. Disponível em: https://www.camara.leg.br/noticias/948872-jovens-agricultores-reivindicam-politicas-publicas-para-garantir-permanencia-no-campo/. Acesso em: 13 set. 2024.

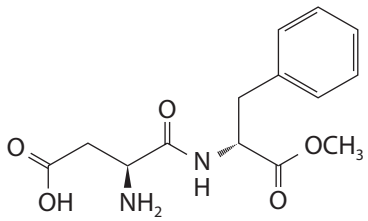
1. Segundo a reportagem, que fatores podem contribuir para o aumento da permanência de jovens no campo?
2. Você conhece o conceito de soberania alimentar? Caso não, pesquise a respeito. Em seguida, responda:
   a. Como a soberania alimentar se relaciona à preservação histórico-cultural da culinária brasileira?
   b. Você concorda que a não permanência dos jovens no campo pode influenciar os hábitos alimentares do Brasil nas próximas décadas? Justifique sua resposta.
3. Descreva como os jovens podem contribuir para o trabalho no campo. Se necessário, pesquise áreas de atuação atuais relacionadas à agropecuária.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADES DE FECHAMENTO

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. O aspartame é um adoçante utilizado como aditivo alimentar em produtos destinados a diabéticos. Pequenas quantidades dessa substância são suficientes para conferir doçura aos alimentos preparados, visto que ela é cerca de duzentas vezes mais doce que a sacarose. A fórmula estrutural da molécula do aspartame é representada a seguir. 1. Alternativa **a**.



As funções orgânicas presentes na molécula desse adoçante são:

a. ácido carboxílico, amida, amina e éster.

b. amida, amina, cetona e éster.

c. ácido carboxílico, aldeído, amida e amina.

d. ácido carboxílico, amida, amina e éter.

e. amida, amina, cetona e éter.

2. (UFSM-RS) A tecnologia ambiental tem direcionado as indústrias à busca da redução dos desperdícios nos processos de produção. Isso implica a redução ou o reaproveitamento de resíduos. Os resíduos são vistos como desperdício, pois é material que foi comprado e está sendo jogado fora, o que reduz a competitividade econômica de um processo. Dentre os mais estudados em busca de reaproveitamento, estão os resíduos da agroindústria, bagaços, palhas e cascas. Esses componentes integram uma biomassa rica em glicose, frutose e celulose, produtos com alto valor para indústrias químicas e de alimentos. Qual a relação estrutural entre os monossacarídeos citados no texto e a celulose? 2. Alternativa **d**.

a. Glicose e frutose formam a sacarose, que, por sua vez, é o monômero constituinte da celulose.

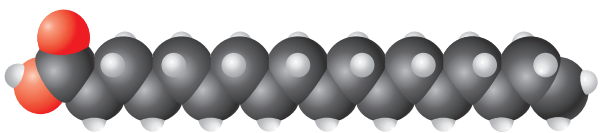
b. A frutose é o monômero formador da celulose.

c. Glicose e frutose são constituintes da celulose.

d. A glicose é o monômero formador da celulose.

e. Glicose, frutose e celulose são monossacarídeos distintos.

3. O ácido esteárico (ácido octadecanoico) é um ácido graxo saturado encontrado em alimentos de origem animal e vegetal que, a 25 °C e 1 atm, apresenta consistência parecida com a das ceras. Esse ácido está representado a seguir. No modelo molecular, os átomos de hidrogênio estão representados na cor branca, os de carbono na cor cinza-escuro e os de oxigênio, em vermelho.



ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

(Imagem sem escala; cores-fantasia.)

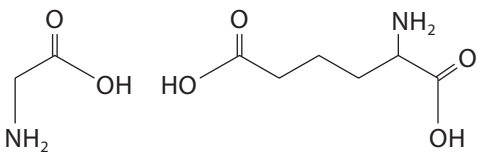
a. Indique a fórmula molecular do ácido esteárico.

b. Com base em sua estrutura, o que se pode afirmar sobre a solubilidade desse composto em água?

4. Considere as fórmulas estruturais dos aminoácidos I e II a seguir e faça o que se pede.

a. Represente, em seu caderno, a fórmula estrutural dos compostos que podem ser formados pela combinação dos aminoácidos I e II na proporção 1 : 1.

b. Que tipo de ligação ocorre na formação desse composto? Circule ou grife essa ligação no(s) produto(s) formado(s).



Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Continua

5. O milho recém-colhido de uma plantação apresenta sabor adocicado em razão do açúcar presente em seus grãos. Com o passar do tempo, esse sabor é alterado porque há a conversão enzimática do açúcar em amido. Uma técnica que ajuda na preservação do sabor adocicado do milho consiste em mergulhá-lo, logo após a colheita, em água fervente, depois resfriá-lo e mantê-lo em congelador até o consumo. O fenômeno que explica a eficácia do procedimento para a manutenção do sabor adocicado é a: 5. Alternativa **b**.

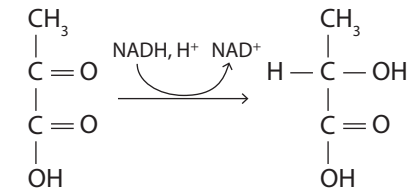
a. catálise.
b. desnaturação.
c. ligação de hidrogênio.
d. polarização.

6. Uma pessoa toma um copo de leite pela manhã e outro antes de dormir. Cada copo de 200 mL de leite contém 13 g de glicídios, 7 g de proteínas e 6 g de lipídios. Calcule a quantidade de energia presente nessas duas porções. Em seguida, indique por quanto tempo uma pessoa de 50 kg deve correr para gastar a energia fornecida por dois copos de leite. Consulte na tabela **Gasto energético aproximado de algumas atividades** os dados de gasto energético por atividade física e considere que 1 cal equivale a 4,2 J.

7. Uma dúvida sobre as proteínas intriga um grupo de estudantes: como é possível que, a partir de apenas vinte tipos diferentes de aminoácidos, exista uma variedade tão grande de proteínas?

a. Proponha uma explicação para esse fenômeno.
b. A partir dos aminoácidos glicina (Gly), ácido glutâmico (Glu) e fenilalanina (Phe), quantos pentapeptídeos diferentes podem ser formados, considerando que a glicina se repita duas vezes nas estruturas?

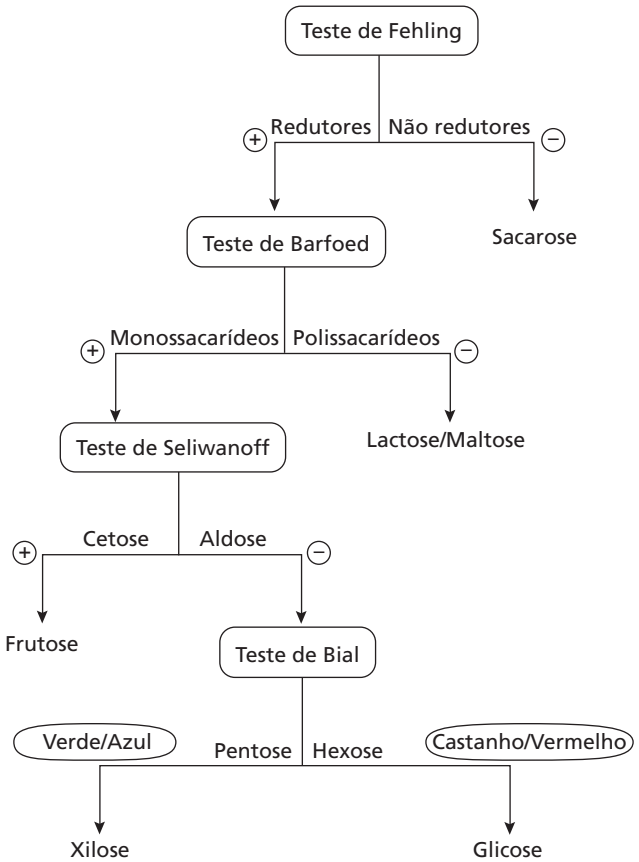
8. Todos os glicídios que ingerimos são convertidos, pelo nosso organismo, em glicose, um monossacarídeo. No processo denominado glicólise, ocorre a conversão de glicose em ácido pirúvico, por meio de diversas reações enzimáticas. Em condições de exercício físico anaeróbio (sem presença de gás oxigênio nas células), o ácido pirúvico se transforma em ácido lático. Observe a fórmula estrutural do ácido pirúvico e o esquema que representa a sua conversão em ácido lático e, em seguida, responda aos itens.



Ácido pirúvico — Ácido lático

a. Por que ambos os compostos orgânicos têm em sua denominação o termo "ácido"? Justifique a resposta com base nas fórmulas estruturais.
b. Durante a transformação de ácido pirúvico em lático, que grupo funcional orgânico é modificado? O ácido pirúvico é oxidado ou reduzido no processo?
c. Essa reação não ocorre sem a presença do composto NADH (dinucleotídeo de nicotinamida e adenina). Formule uma hipótese que explique a função dessa substância.
d. Considerando que ambos os ácidos são encontrados no meio aquoso em nosso organismo, equacione suas reações de ionização nesse meio.

9. O fluxograma a seguir mostra os resultados de diferentes testes que podem ser empregados para identificar características dos glicídios. 9. Alternativa **b**.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Qual é a única alternativa INCORRETA?

a. Se a análise de uma amostra der um resultado negativo no teste de Fehling, ela contém sacarose.
b. Se a análise de uma amostra der um resultado positivo no teste de Fehling e um resultado negativo no teste de Barfoed, ela contém sacarose, lactose ou maltose.
c. Se a análise de uma amostra der um resultado positivo nos testes de Fehling e de Barfoed e negativo no teste de Seliwanoff, ela pode conter xilose ou glicose.
d. Se a análise de uma amostra der um resultado positivo para o teste de Seliwanoff, ela contém frutose.
e. Uma amostra só conterá glicose se os resultados da análise forem positivos em todos os testes, exceto no teste de Seliwanoff, que deve ter resultado negativo, e se, posteriormente, ela apresentar coloração castanha/vermelha no teste de Bial.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Capítulo 20

Equilíbrio químico e sistema-tampão

PEOPLEIMAGES/ISTOCK/GETTY IMAGES

Escovar os dentes é um hábito de higiene que ajuda a evitar cáries e mau hálito.

Comente que diversos ácidos orgânicos são produzidos durante o metabolismo bacteriano, sendo predominantes os ácidos lático e acético.

Os problemas de saúde bucal geralmente se iniciam com alta ingestão de glicídios ou de alimentos cítricos aliada à má higienização dos dentes. Bactérias existentes na boca fermentam esses glicídios, produzindo substâncias de caráter ácido. Em meio ácido, a hidroxiapatita, que é a biocerâmica que compõe os dentes, pode se dissolver em um processo chamado desmineralização.

A desmineralização e o processo inverso, a mineralização, ocorrem naturalmente com a mesma rapidez. Porém, em algumas situações, a rapidez da desmineralização pode ser maior que a da mineralização, levando à formação das cáries. Evitar o surgimento das cáries, do ponto de vista químico, significa evitar alterações no equilíbrio entre desmineralização/mineralização que favoreçam a rapidez da desmineralização.

A saliva tem influência no processo de desmineralização/mineralização do esmalte, pois ela apresenta uma mistura em proporções adequadas de gás carbônico e íons hidrogenocarbonato dissolvidos (CO_2/HCO_3^-). Esse sistema, denominado **sistema-tampão**, é eficiente para neutralizar parte dos ácidos produzidos na fermentação bacteriana ou ingeridos pela alimentação.

Para explorar os fundamentos da química envolvida na saúde bucal, neste capítulo abordamos aspectos do equilíbrio ácido-base e sistema-tampão. Além disso, apresentamos os conceitos de equilíbrio de solubilidade, que é fundamental para compreender como o esmalte do dente é influenciado pelos nossos hábitos alimentares e de higiene.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Equilíbrios ácido-base

O equilíbrio químico de que participam espécies químicas de caráter ácido e básico é denominado equilíbrio ácido-base. Talvez a primeira associação entre o caráter ácido-base das substâncias e a química dos íons H^+ tenha surgido na teoria da dissociação eletrolítica proposta, em 1887, pelo químico sueco Svante Arrhenius (1859-1927). Essa teoria explicava o processo de neutralização ácido-base como uma reação entre íons $H^+(aq)$, provenientes da ionização do ácido, e $OH^-(aq)$, provenientes da dissociação da base, produzindo $H_2O(\ell)$. Embora útil, a concepção apresentava limitações, como a restrição ao solvente água, o que abriu espaço para novas teorias ácido-base.

Para que os conceitos ácido-base, segundo a teoria de Arrhenius, fiquem mais claros, mostre aos estudantes exemplos de reações, em água, de ionização de ácidos, como HNO_3, e de dissociação de bases, como NaOH.

Em 1923, o químico dinamarquês Johannes Brønsted (1879-1947) e o químico inglês Thomas Lowry (1874-1936) propuseram, de forma independente, definições para ácido e base mais gerais que a de Arrhenius, que ficou conhecida como **teoria protônica**. Segundo essa teoria, ácido é a espécie química que doa prótons (H^+) e base é a espécie química que recebe esses prótons, independentemente da natureza química do solvente.

Ao analisar a ionização do ácido clorídrico ($HC\ell$) em água, representada a seguir, observa-se que as moléculas do ácido transferem íons $H^+(aq)$ para moléculas de H_2O, formando íons oxônio (H_3O^+) e cloreto ($C\ell^-$).

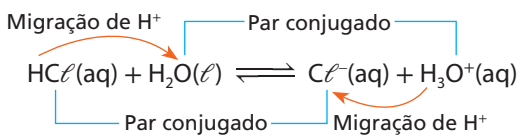
$$HC\ell(aq) + H_2O(\ell) \rightleftharpoons H_3O^+(aq) + C\ell^-(aq)$$

Modelo submicroscópico da ionização do ácido clorídrico em água. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

O nome hidrônio para o cátion H_3O^+ não é aceito pela IUPAC. Explique aos estudantes que o termo "próton", na teoria de Brønsted-Lowry, está associado ao íon H^+. Lembre-os de que o isótopo mais abundante do elemento químico hidrogênio apresenta um próton e um elétron, assim o íon H^+ tem como partícula subatômica apenas um próton.

Tanto a reação direta quanto a reação inversa envolvem a transferência de prótons, segundo a teoria protônica, como representado na equação química para a ionização do ácido clorídrico. Na reação direta, $HC\ell(aq)$ é um ácido de Brønsted-Lowry, pois transfere um próton (H^+) para a água, que nessa situação é uma base de Brønsted-Lowry. Na reação inversa, $H_3O^+(aq)$ transfere um próton para $C\ell^-(aq)$; logo, nessa reação, $H_3O^+(aq)$ é o ácido e $C\ell^-(aq)$ é a base. Portanto, cada ácido tem uma **base conjugada**, e cada base tem associado a ela um **ácido conjugado**.



Os fundamentos do equilíbrio químico são abordados no capítulo 12.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

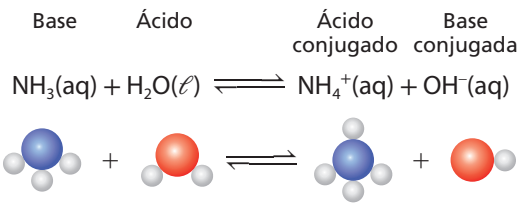
Fique por dentro

Água alcalina não cura nada e nem devolve a juventude

KOWALTOWSKI, A. Água alcalina não cura nada e nem devolve a juventude. **Revista Questão de Ciência**, 4 jul. 2019. Disponível em: https://www.revistaquestaodeciencia.com.br/questao-de-fato/2019/07/04/agua-alcalina-nao-cura-nada-e-nem-devolve-juventude. Acesso em: 23 set. 2024.

O artigo desmistifica a capacidade reguladora do pH sanguíneo pela ingestão de água alcalina.

Diferentemente da teoria proposta por Arrhenius, em que ácidos e bases podem ser conceituados em relação à liberação de íons H^+ e OH^-, segundo Brønsted e Lowry, um ácido e uma base são definidos em função do processo de transferência de prótons. Em outras palavras, uma substância se comportará como um ácido somente se outra substância se comportar simultaneamente como uma base. Note que o caráter ácido-base é relativo na teoria protônica: as substâncias podem ser classificadas como ácido ou base de Brønsted-Lowry, dependendo das outras espécies químicas presentes. Por exemplo, estudamos que a água é uma base na reação com o ácido clorídrico. No entanto, ela é classificada como ácido, por exemplo, na reação representada a seguir, ao transferir H^+ para a amônia, NH_3.



Modelo submicroscópico da ionização da amônia em água. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

A água ter caráter **anfiprótico**, ou seja, pode atuar como ácido ou base de Brønsted-Lowry.

A autoionização da água e as medidas de pH

Uma das propriedades da água é sua capacidade de se ionizar formando íons H^+ e OH^-. Esse processo é chamado **autoionização da água**.

Comente que, por questão de simplificação, é comum representar os íons H_3O^+ apenas como H^+.

$$H_2O(\ell) \rightleftharpoons H^+(aq) + OH^-(aq)$$

As reações direta e inversa são extremamente rápidas, e apenas duas de cada 10^9 moléculas estão ionizadas a 25 °C, em qualquer momento. Assim, a água é formada praticamente por moléculas, e não por íons.

O processo de autoionização da água é um sistema em equilíbrio. Dessa forma, é possível representar a extensão em que a autoionização ocorre por meio de uma **constante de equilíbrio** (K_c) calculada pela razão entre as concentrações em quantidade de substância das espécies químicas indicadas como produtos e daquelas indicadas como reagentes, na equação química que representa o sistema em equilíbrio.

Se os estudantes já tiverem estudado forças intermoleculares, conteúdo abordado no capítulo 2, você pode discutir esse aspecto com base na formação de ligações de hidrogênio.

A **concentração em quantidade de substância** (***c***) é indicada em mol L^{-1} e expressa a quantidade de substância do soluto – material presente em menor quantidade na mistura – por volume da solução. Segundo o Sistema Internacional de Unidades (SI), um **mol** contém exatamente $6{,}02214076 \cdot 10^{23}$ entidades químicas (átomos, moléculas, íons, partículas elementares etc.). A concentração em quantidade de substância de uma espécie química também pode ser representada com sua fórmula química entre colchetes, por exemplo, $[H^+]$.

Observe a expressão da constante de equilíbrio da autoionização da água:

$$K_c = \frac{[H^+]\,[OH^-]}{[H_2O]}$$

Em sistemas como esse, a água no estado líquido – como solvente – não faz parte da equação de equilíbrio. Assim, podemos determinar a **constante do produto iônico da água** (K_w) por meio do produto entre as concentrações dos íons em solução: $K_w = [H^+][OH^-]$, em que a letra w se refere à *water*, que significa água em inglês.

Explique aos estudantes que o equilíbrio de autoionização da água também pode ser representado pela equação química: $H_2O(\ell) + H_2O(\ell) \rightleftharpoons H_3O^+(aq) + OH^-(aq)$; $K_w = [H_3O^+][OH^-]$.

A 25 °C, em água pura, $[H^+] = [OH^-] = 1{,}0 \cdot 10^{-7}$ mol L^{-1}. Logo, $K_w = 1{,}0 \cdot 10^{-14}$ nessa temperatura.

À medida que a concentração de um dos íons aumenta, a do outro diminui, de forma que seu produto é sempre $1{,}0 \cdot 10^{-14}$ a 25 °C. Uma solução na qual $[H^+] = [OH^-]$ é conhecida como solução neutra. As soluções ácidas apresentam $[H^+]$ superior a $[OH^-]$, ao contrário das soluções básicas ou alcalinas, que apresentam $[OH^-]$ maior que $[H^+]$.

Verifique a compreensão dos estudantes quanto à ideia de ordem de grandeza.

As concentrações dos íons H^+ em soluções aquosas podem variar em muitas ordens de grandeza. Essas concentrações podem ser expressas em uma escala logarítmica conhecida como **escala de pH** (potencial hidrogeniônico). O pH de uma solução é calculado pelo logaritmo negativo na base 10 da concentração dos íons $H^+(aq)$: $pH = -\log [H^+]$.

Assim, o pH da água a 25 °C é:

$$pH = -\log (1{,}0 \cdot 10^{-7}) \Rightarrow pH = -(\log 1{,}0 + \log 10^{-7}) \Rightarrow pH = 0 - (-7) \therefore pH = 7$$

O sinal negativo na expressão do cálculo do pH indica que, à medida que a concentração de íons $H^+(aq)$ em solução diminui, o valor de pH aumenta.

Chame a atenção dos estudantes para o fato de que $\log 1{,}0$ é igual a zero, pois $10^0 = 1$.

A concentração de íons $OH^-(aq)$ em solução pode também ser expressa em uma escala logarítmica. O **pOH** (potencial hidroxiliônico) pode ser calculado por meio da expressão: $pOH = -\log [OH^-]$.

Os valores de pH e pOH estão relacionados de acordo com a expressão da constante do produto iônico da água: $[H^+][OH^-] = K_w$.

Aplicando o logaritmo em ambos os lados da expressão, temos:

$$\log ([H^+][OH^-]) = \log K_w \Rightarrow \log [H^+] + \log [OH^-] = \log K_w$$

Multiplicando por –1 ambos os lados da expressão, temos:

$$-\log [H^+] - \log [OH^-] = -\log K_w$$

Essa expressão é equivalente a: $pH + pOH = pK_w$.

A 25 °C, $K_w = 1{,}0 \cdot 10^{-14}$; portanto, $pK_w = 14$. Assim, a 25 °C: $pH + pOH = 14$.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

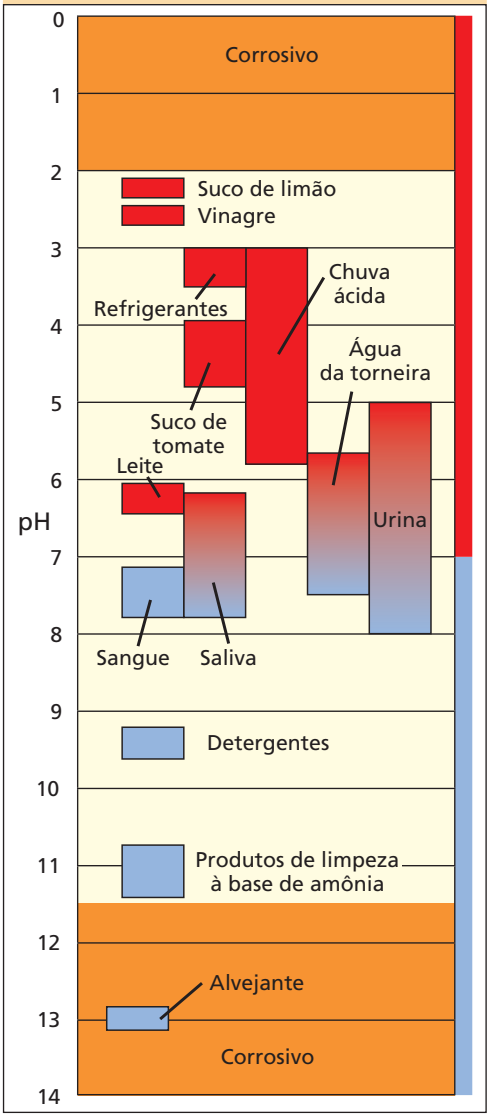
Com base nos cálculos mostrados, perceba que os valores de pH e pOH são complementares: se um deles aumenta, o outro diminui, para que a soma seja sempre 14 a 25 °C. Assim, se uma solução a 25 °C apresenta pH igual a 1,4, seu valor de pOH é igual a 12,6.

Geralmente, as soluções apresentam valores de pH entre 0 e 14, mas valores acima e abaixo dessa faixa também são possíveis. Soluções que, a 25 °C, apresentam valor de pH maior que 7 são classificadas como básicas ou alcalinas, e as que têm valor de pH inferior a 7 são ácidas. Nessa temperatura, o pH igual a 7 corresponde a soluções neutras.

A figura ao lado compara os valores de pH de alguns materiais conhecidos.

Note que o vinagre, por exemplo, é cerca de 10.000 (10^4) vezes mais ácido que o leite, pois, como a escala de pH é logarítmica e a de concentrações é linear, a variação de uma unidade no valor de pH corresponde a uma variação de 10^1 unidades no valor da concentração.

Faixas de pH de diversas soluções aquosas



ANDERSON DE ANDRADE PIMENTEL/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em ATKINS, P.; JONES, L.; LAVERMANN, L. **Chemical principles**: the quest for insight. 7th. ed. New York, NY: W. H. Freeman and Company, 2016.

Representação esquemática da escala de pH e faixas com valores de pH de diversas soluções aquosas. As regiões em laranja indicam o pH de soluções consideradas corrosivas.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADE COMENTADA

O suco de limão apresenta pH próximo de 2, enquanto o café passado tem pH próximo de 5. Quantas vezes o suco de limão é mais ácido que o café?

Analisar o enunciado

Sabe-se que quanto menor o pH, maior a acidez; logo, o suco de limão é mais ácido que o café. O problema requer quantificar as concentrações de íons H^+ das soluções para determinar quantas vezes o suco de limão é mais ácido que o café.

Selecionar as informações relevantes

- O pH do suco de limão é 2.
- O pH do café passado é 5.

Aplicar o conceito estudado

Calcular a concentração de íons H^+ com base no valor de pH.

Suco de limão: $pH = 2 \Rightarrow pH = -\log[H^+] = 2 \Rightarrow$

$\Rightarrow \log[H^+] = -2 \Rightarrow [H^+] = 10^{-2}\ mol\ L^{-1}$

Café passado: $pH = 5 \Rightarrow pH = -\log[H^+] = 5 \Rightarrow$

$\Rightarrow \log[H^+] = -5 \Rightarrow [H^+] = 10^{-5}\ mol\ L^{-1}$

Calcular a razão entre as concentrações de íons H^+ do suco de limão e do café passado:

$$\frac{10^{-2}\ mol\ L^{-1}}{10^{-5}\ mol\ L^{-1}} = 10^3 = 1.000$$

Verificar a solução

Portanto, o suco de limão apresenta uma concentração de íon H^+ 1.000 vezes maior que o café passado.

Constante de acidez e de basicidade

Grau de ionização é abordado no capítulo 9.

Os ácidos podem ser classificados de acordo com sua força. Segundo a teoria de Arrhenius, a diferença entre ácidos fortes e fracos está na extensão de sua ionização quando em solução aquosa e, de acordo com a teoria protônica, está na tendência em transferir íons H^+. Entre os extremos, há muitas situações intermediárias, o que torna útil a determinação de um valor numérico que permita comparações entre os ácidos relativas à sua força. No entanto, do ponto de vista da teoria protônica, essas comparações só podem ser feitas se, nas reações, a mesma substância for a base. Em geral, adota-se a água nesse caso.

Assim, seja um ácido qualquer representado por HA; seu equilíbrio químico de transferência de íons H^+ para a água (ou de ionização em água) e sua constante de equilíbrio são representados a seguir.

$$HA(aq) + H_2O(\ell) \rightleftharpoons H_3O^+ + A^-(aq) \qquad K_a = \frac{[H_3O^+][A^-]}{[HA]}$$

Se julgar conveniente, aproveite esse momento para abordar o tema nomenclatura de ácidos inorgânicos.

O índice "a" em K_a indica que se refere a um ácido em água. Assim, essa constante é chamada **constante de acidez**. A uma mesma temperatura, quanto maior é a concentração de íons $H^+(aq)$ em solução, maior é o valor de K_a e, portanto, mais forte é o ácido. A tabela a seguir apresenta alguns valores de K_a para comparação.

K_a para alguns ácidos de cloro em solução aquosa diluída (25 °C)

Nome	Fórmula	K_a
Ácido hipocloroso	$HC\ell O$	$4{,}0 \cdot 10^{-8}$
Ácido cloroso	$HC\ell O_2$	$1{,}2 \cdot 10^{-2}$
Ácido perclórico	$HC\ell O_4$	$4{,}0 \cdot 10^{1}$
Ácido clorídrico	$HC\ell$	$1{,}0 \cdot 10^{7}$

Fontes: LIDE, D. R. (editor da versão para internet). **Handbook of Chemistry and Physics**. 96th ed. Boca Raton: CRC Press, 2016; ATKINS, P.; DE PAULA, J. de. **Physical Chemistry**. 8. ed. New York: W. H. Freeman and Company, 2006.

Nomes e fórmulas moleculares de alguns ácidos de cloro e respectivos valores de K_a em solução aquosa (a 25 °C).

A mesma análise pode ser feita para determinar a força de uma base, utilizando agora a água como o ácido. Seja B uma base qualquer; seu equilíbrio químico de receptor de íons H^+ da água e sua constante de equilíbrio são representados a seguir.

$$B(aq) + H_2O(\ell) \rightleftharpoons HB^+(aq) + OH^-(aq) \qquad K_b = \frac{[HB^+][OH^-]}{[B]}$$

Nesse caso, K_b é denominada **constante de basicidade**. Quanto maior é a concentração de íons $OH^-(aq)$ em solução, maior é o valor de K_b e, portanto, mais forte é a base.

Relação entre as constantes de equilíbrio ácido-base e o pH

Como foi estudado, o pH indica a concentração de íons $H^+(aq)$ em uma solução. Assim, ele se relaciona com K_a e K_b de forma que, com o valor de pH de uma solução, é possível calcular essas constantes.

Tomemos como exemplo uma solução de ácido metanoico ou fórmico (HCOOH), presente no ferrão de algumas espécies de formigas, cuja concentração inicial seja 0,10 (ou $1{,}0 \cdot 10^{-1}$) mol L^{-1}. A 25 °C, essa solução tem pH igual a 3,0. A concentração de íons $H^+(aq)$ dissolvidos em solução é calculada a seguir:

$$pH = -\log[H^+] \Rightarrow 3{,}0 = -\log[H^+] \therefore [H^+] = 1{,}0 \cdot 10^{-3} \text{ mol } L^{-1}$$

Com o valor de $[H^+]$ e a proporção estequiométrica, que vem da equação química balanceada e que, neste caso, é 1 : 1 : 1, é possível calcular o valor de K_a do ácido fórmico a partir do seu equilíbrio de ionização em água nessas condições.

	$HCOOH(aq)$	$\rightleftharpoons$	$H^+(aq)$	+	$HCOO^-(aq)$
Início	$1{,}0 \cdot 10^{-1}$ mol L^{-1}		0		0
Variação	$-1{,}0 \cdot 10^{-3}$ mol L^{-1}		$+1{,}0 \cdot 10^{-3}$ mol L^{-1}		$+1{,}0 \cdot 10^{-3}$ mol L^{-1}
Equilíbrio	(0,10 – 0,0010) mol L^{-1}		$1{,}0 \cdot 10^{-3}$ mol L^{-1}		$1{,}0 \cdot 10^{-3}$ mol L^{-1}

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A quantidade de ácido fórmico que se ioniza ($1{,}0 \cdot 10^{-3}$ mol L^{-1}) é muito pequena se comparada à concentração inicial do ácido ($1{,}0 \cdot 10^{-1}$ mol L^{-1}) e, para facilitar os cálculos, podemos desconsiderá-la. No equilíbrio, portanto, a concentração de ácido fórmico é aproximadamente igual a 0,10 mol L^{-1}.

Enfatize aos estudantes que as constantes de equilíbrio são tratadas como grandezas adimensionais.

Substituindo os valores obtidos no equilíbrio na expressão da constante de acidez, temos:

$$K_a = \frac{[H^+][HCOO^-]}{[HCOOH]} \Rightarrow K_a = \frac{(1{,}0 \cdot 10^{-3})}{1{,}0 \cdot 10^{-1}} \Rightarrow K_a = \frac{1{,}0 \cdot 10^{-6}}{1{,}0 \cdot 10^{-1}} \Rightarrow K_a = 1{,}0 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{1} \therefore K_a = 1{,}0 \cdot 10^{-5}$$

O caminho contrário também é possível, ou seja, pelas constantes de equilíbrio químico podemos calcular o pH de uma solução. Considere, por exemplo, uma solução de amônia 0,15 mol L^{-1}, em que K_b é igual a $1{,}8 \cdot 10^{-5}$ a 25 °C.

	$NH_3(aq)$	+	$H_2O(\ell)$	$\rightleftharpoons$	$NH_4^+(aq)$	+	$OH^-(aq)$
Início	0,15 mol L^{-1}		—		0		0
Variação	$-x$ mol L^{-1}		—		$+x$ mol L^{-1}		$+x$ mol L^{-1}
Equilíbrio	$(0{,}15 - x)$ mol L^{-1}		—		x mol L^{-1}		x mol L^{-1}

O valor de K_b indica que a amônia é uma base fraca e que, portanto, forma poucos íons em água. Logo, é possível admitir que a concentração de amônia no equilíbrio é praticamente igual à concentração inicial. Dessa forma, substituindo os valores na expressão da constante de basicidade, temos:

Esclareça aos estudantes que às vezes não é adequado desconsiderar as pequenas quantidades de ionização de ácidos/bases, sendo necessário, nesses casos, resolver a equação de segundo grau completa.

$$K_b = \frac{[NH_4^+][OH^-]}{[NH_3]} \Rightarrow 1{,}8 \cdot 10^{-5} = \frac{x \cdot x}{0{,}15} \Rightarrow x^2 = 1{,}8 \cdot 10^{-5} \cdot 0{,}15 \Rightarrow x = \sqrt{2{,}7 \cdot 10^{-6}}$$

$$\therefore x \simeq 1{,}6 \cdot 10^{-3} \text{ mol } L^{-1}$$

Logo, a concentração de íons $OH^-(aq)$ é igual a $1{,}6 \cdot 10^{-3}$ mol L^{-1}. Assim, temos:

$$pOH = -\log[OH^-] \Rightarrow pOH = -\log(1{,}6 \cdot 10^{-3}) \therefore pOH = 2{,}8$$

$$pH + pOH = 14 \Rightarrow pH + 2{,}8 = 14 \therefore pH = 11{,}2$$

Constante de hidrólise e o pH de soluções salinas

A ligação iônica é estudada no capítulo 3.

Sais são compostos iônicos que podem ser obtidos pela reação de neutralização entre ácidos e bases de Arrhenius após a evaporação da água. O pH de uma solução salina, no entanto, não é necessariamente 7 (meio neutro a 25 °C). Ele depende do caráter ácido ou básico dos íons em solução. Considerando que o sal se dissocia completamente em água, seus íons podem reagir com os íons provenientes da autoionização da água, formando-se um excesso de $H^+(aq)$ ou $OH^-(aq)$. Esse tipo de reação é denominado hidrólise salina.

Por exemplo, considere o sal acetato de sódio (CH_3COONa), constituído de íons sódio (Na^+) e acetato (CH_3COO^-). O ânion acetato é a base conjugada (ou par conjugado) do ácido acético (CH_3COOH), um ácido fraco. Já o cátion sódio (Na^+) é proveniente do hidróxido de sódio (NaOH), que é uma base forte. Após a dissolução do sal, os ânions acetato ligam-se aos íons $H^+(aq)$ que existem em solução em razão da autoionização da água, formando o ácido acético, enquanto o cátion sódio permanece em solução, sem reagir. O processo global é representado a seguir.

$$CH_3COONa(s) + H_2O(\ell) \rightleftharpoons CH_3COOH(aq) + OH^-(aq) + Na^+(aq)$$

Note que o ânion hidróxido (OH^-) é a base conjugada da água nessa reação ácido-base, como no caso da dissolução da amônia (NH_3) em água, apresentado anteriormente.

Assim, de acordo com a equação química representada, é possível prever qualitativamente que o acetato de sódio em água deve formar uma solução de caráter básico, pois a concentração de íons hidróxido será maior que a concentração de íons hidrogênio em comparação com o solvente puro. De forma geral, pode-se afirmar que, em solução aquosa:

- cátions que são pares conjugados de bases fortes e ânions que são pares conjugados de ácidos fortes formam soluções neutras (pH = 7), ou seja, o equilíbrio de autoionização da água não é afetado por esses íons;
- cátions que são pares conjugados de bases fortes e ânions que são pares conjugados de ácidos fracos formam soluções básicas (pH > 7);

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

- cátions que são pares conjugados de bases fracas e ânions que são pares conjugados de ácidos fortes formam soluções ácidas (pH < 7).

O equilíbrio químico de hidrólise de um sal também pode ser descrito por uma constante, chamada **constante de hidrólise**, K_h. No caso de ânion genérico $A^-(aq)$ de caráter básico, a reação de hidrólise e a constante de equilíbrio associada a ela podem ser assim representadas:

$$A^-(aq) + H_2O(\ell) \rightleftharpoons HA(aq) + OH^-(aq)$$

$$K_h = \frac{[HA][OH^-]}{[A^-]}$$

Multiplicando o numerador e o denominador pela concentração de $H^+(aq)$, obtemos a seguinte relação:

$$K_h = \frac{[HA][OH^-]}{[A^-]} \cdot \frac{[H^+]}{[H^+]}$$

Reorganizando os termos da expressão matemática, podemos obter a relação entre K_h, K_w e K_a:

$$K_h = \underbrace{[H^+][OH^-]}_{K_w} \cdot \underbrace{\frac{[HA]}{[A^-][H^+]}}_{\frac{1}{K_a}} \therefore K_h = K_w \cdot \frac{1}{K_a}$$

Uma vez que se tenha o valor de K_a, pode-se calcular a concentração de $H^+(aq)$ no equilíbrio e determinar o pH da solução em certa temperatura. Note que a constante de hidrólise (K_h) independe da concentração dos íons e, consequentemente, o pH também.

No caso dos cátions de caráter ácido, utilizamos o mesmo raciocínio para encontrar a relação entre K_h, K_w e K_b:

$$K_h = K_w \cdot \frac{1}{K_b}$$

Com base nessa relação, é possível determinar o valor da concentração de íons $OH^-(aq)$ no equilíbrio, necessário para o cálculo do pH da solução salina.

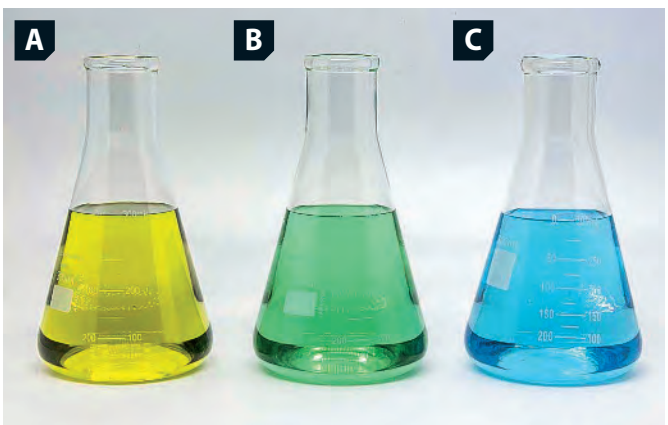
Para casos de sais formados por íons provenientes de ácido e base fracos, a expressão empregada para inferir o pH dessas soluções relaciona K_h, K_w, K_a e K_b:

$$K_h = \frac{K_w}{K_a K_b}$$

Assim, temos:

- $K_a > K_b \Rightarrow [H^+] > [OH^-] \therefore$ a solução é ácida.
- $K_a < K_b \Rightarrow [H^+] < [OH^-] \therefore$ a solução é básica.
- $K_a = K_b \Rightarrow [H^+] = [OH^-] \therefore$ a solução é neutra.

A figura a seguir possibilita comparar o caráter ácido-base de soluções aquosas dos sais cloreto de amônio ($NH_4C\ell$), acetato de amônio (CH_3COONH_4) e acetato de sódio (CH_3COONa), respectivamente, que, em contato com o indicador azul de bromotimol, adquirem coloração amarelada em meio ácido, verde em meio neutro e azul em meio básico.



JUNIOR ROZZO/ROZZO IMAGENS

Hidrólise salina em diferentes soluções aquosas. **(A)** Cloreto de amônio (pH = 5). **(B)** Acetato de amônio (pH = 7). **(C)** Acetato de sódio (pH = 9). A 25 °C, tanto $K_a(CH_3COOH)$ quanto $K_b(NH_4OH)$ são iguais a $1{,}8 \cdot 10^{-5}$.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

1. Determinado indicador ácido-base fica amarelo em soluções aquosas de concentração hidrogeniônica maior que $1{,}0 \cdot 10^{-6}$ mol L^{-1} e azul em soluções de concentração hidrogeniônica menor que $2{,}5 \cdot 10^{-8}$ mol L^{-1}.
Considere as seguintes soluções:

- Suco de tomate: pH ≃ 4,6
- Água da chuva: pH ≃ 5,6
- Água do mar: pH ≃ 8,2

Responda:

a. Que cor esse indicador terá em cada uma delas?

b. Quantas vezes o suco de tomate é mais ácido que a água da chuva?

c. Qual é a concentração de OH^- da água do mar?

[Dado: log 2,5 = 0,4.]

2. Os dados a seguir indicam que, quanto maior a temperatura da água, maior o valor de seu produto iônico:

- a 25 °C: $K_w = [H_3O^+] \cdot [OH^-] = 1{,}0 \cdot 10^{-14}$;
- a 45 °C: $K_w = [H_3O^+] \cdot [OH^-] = 4{,}0 \cdot 10^{-14}$.

a. O que se pode concluir quanto à autoionização da água: é endotérmica ou exotérmica? Justifique sua resposta com base no princípio de Le Chatelier.

b. É correto afirmar que o pH da água (neutra) sempre valerá 7,0? Explique.

[Dado: log 2 = 0,3.]

3. Conforme estudado, pode-se constatar que alguns sais são capazes de alterar o pH do meio em que se dissolvem por meio de hidrólise salina. Explique por que motivo não ocorre a hidrólise do cloreto de sódio (NaCℓ) em solução aquosa e, desse modo, não altera o pH do meio em que está presente.

Perturbações do equilíbrio ácido-base

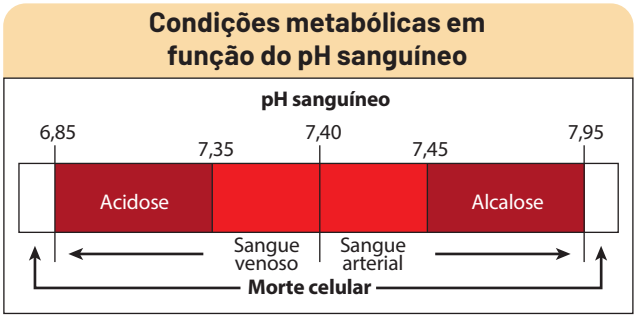
Em um equilíbrio químico, as condições do sistema podem favorecer uma das reações – a direta ou a inversa. O pH do sangue, por exemplo, apresenta valor dentro de um pequeno intervalo (7,35 a 7,45), que é mantido nessa faixa principalmente graças ao equilíbrio químico entre dióxido de carbono e hidrogenocarbonato:

$$CO_2(aq) + H_2O(\ell) \rightleftharpoons HCO_3^-(aq) + H^+(aq)$$

Várias situações podem alterar o pH sanguíneo. Durante uma crise de ansiedade, por exemplo, o indivíduo pode passar a respirar de modo ofegante, fazendo com que o organismo libere muito CO_2 para a atmosfera. Para restabelecer o equilíbrio, ou seja, a razão entre as concentrações das espécies químicas, expressa pela constante de equilíbrio (K_c), a reação inversa é favorecida. Desse modo, compensa-se a diminuição da concentração de CO_2 pela formação de mais moléculas dessa substância. Em consequência, a concentração dos íons em solução diminui e, com isso, o pH do sangue se eleva. Essa condição é denominada **alcalose**. Inversamente, quando a respiração se torna deficiente, a concentração de CO_2 no sangue aumenta. Para restabelecer o equilíbrio, a reação direta é favorecida. Consequentemente, a concentração dos íons em solução aumenta e, com isso, o pH sanguíneo diminui, condição conhecida por **acidose**.

Observe, na figura da página seguinte, que valores de pH acima de 7,45 caracterizam a alcalose, e valores abaixo de 7,35, a acidose. Se o pH do sangue atinge valores acima de 7,95 ou abaixo de 6,85, ocorre morte celular.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.



Fonte: LIMA, L. M. (org.). **Exames bioquímicos**: guia prático para o clínico. Rio de Janeiro: Rubio, 2016.

Representação esquemática relacionando o intervalo de pH do sangue com algumas condições metabólicas.

Como o pH do sangue afeta o pH intracelular, e vice-versa, a acidose e a alcalose são muito perigosas, podendo levar à morte. Por isso, é relevante tratar a causa dessa alteração de pH imediatamente. Como se trata de um equilíbrio químico em sistema aberto, nosso organismo procura restabelecer o pH do sangue por meio de dois mecanismos principais: a respiração e a excreção. O controle da respiração permite ajustar a concentração de gás carbônico dissolvido no sangue, e o controle da reabsorção de solutos nos rins possibilita ajustar a concentração sanguínea de hidrogenocarbonato. Em alguns casos, no entanto, a assistência médica torna-se necessária.

Efeito do íon comum

Demonstre com exemplos numéricos que, quando o numerador aumenta, o resultado da fração também aumenta e, por isso, $Q_c > K_c$.

Para compreender melhor como o organismo consegue manter o pH do sangue praticamente constante, vamos analisar um caso de alcalose que tenha surgido da ingestão em excesso de um antiácido como o hidrogenocarbonato de sódio ($NaHCO_3$) em solução aquosa.

Em relação ao sistema-tampão CO_2/HCO_3^-, temos:

$$CO_2(aq) + H_2O(\ell) \rightleftharpoons H^+(aq) + HCO_3^-(aq)$$

$$K_C = \frac{[H^+][HCO_3^-]}{[CO_2]}$$

Em relação à solução aquosa do antiácido, temos:

$$NaHCO_3(s) \xrightarrow{H_2O} Na^+(aq) + HCO_3^-(aq)$$

A ingestão de hidrogenocarbonato de sódio ($NaHCO_3$) aumenta a concentração de íons hidrogenocarbonato (HCO_3^-) em solução, interferindo no equilíbrio químico do sistema-tampão. Como a dissolução do sal e do gás carbônico fornece, em solução, o mesmo ânion, esse efeito é chamado **efeito do íon comum**.

Ao aplicar na expressão da constante de equilíbrio (K_c) os novos valores de concentração em quantidade de substância após a perturbação do equilíbrio, obtemos o que chamamos de quociente de reação (Q_c). De acordo com a análise do quociente de reação para o equilíbrio ácido-base, depois da ingestão de antiácido, temos $Q_c > K_c$. A nova situação de equilíbrio é alcançada quando Q_c se iguala a K_c, ou seja, quando a concentração de hidrogenocarbonato em solução diminui. Para que isso ocorra, a reação inversa é favorecida, consumindo o excesso de íons HCO_3^- em solução. Note que, nessa nova situação de equilíbrio, as concentrações das substâncias não são iguais às concentrações originais.

A mesma análise pode ser feita para avaliar o efeito da adição de soluções de sal proveniente de base fraca, como uma solução aquosa de cloreto de amônio ($NH_4C\ell$) na ionização em solução aquosa de uma base fraca; no caso, a amônia (NH_3). A concentração de íons em solução diminui com a adição do íon comum proveniente do sal, pois, como $Q_c > K_c$, a formação de amônia (reação inversa) é favorecida, consumindo o excesso de íons NH_4^+.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Soluções-tampão

Peça aos estudantes que escrevam as equações químicas que representam a ionização da base e a dissolução do sal, acompanhando a explicação com base nessas equações.

As soluções aquosas que apresentam a característica de manter seu valor de pH quase constante, mesmo com adição de quantidades consideráveis de ácidos fortes e de bases fortes, são chamadas **soluções-tampão**, ou simplesmente tampão. Elas são particularmente importantes para manter o funcionamento dos processos metabólicos do organismo, pois alterações de pH afetam a estrutura e, consequentemente, a função das proteínas, como estudado no capítulo 19.

Essa característica das soluções-tampão se deve ao fato de que, em seu equilíbrio, existem tanto espécies químicas de caráter ácido para neutralizar os íons $OH^-(aq)$ como espécies químicas de caráter básico para neutralizar os íons $H^+(aq)$, em concentrações suficientes. As espécies químicas de caráter ácido e básico existentes nessas soluções não devem consumir umas às outras em reações de neutralização. Para isso, as soluções-tampão são constituídas sempre por um par ácido-base conjugado, como hidrogenofosfato (HPO_4^{2-})/di-hidrogenofosfato ($H_2PO_4^-$), por exemplo.

Para determinar o pH de uma solução-tampão, a expressão da constante do equilíbrio de ionização em água de um ácido fraco é rearranjada da seguinte forma:

$$K_a = \frac{[H^+][A^-]}{[HA]} \Rightarrow [H^+] = K_a \frac{[HA]}{[A^-]} \Rightarrow -\log[H^+] = -\log K_a - \log\left(\frac{[HA]}{[A^-]}\right)$$

$$\therefore \text{pH} = \text{p}K_a + \log\left(\frac{[A^-]}{[HA]}\right)$$

A expressão obtida é conhecida como **equação de Henderson-Hasselbalch**, pois foi proposta pelo bioquímico estadunidense Lawrence Joseph Henderson (1878-1942) e pelo físico-químico dinamarquês Karl Albert Hasselbalch (1874-1962). A aplicação dessa equação nos permite calcular a proporção entre o par ácido-base conjugado para obter um tampão com pH conhecido ou calcular o pH partindo da proporção das espécies químicas.

Esclareça aos estudantes que os íons $OH^-(aq)$ estão em menor quantidade e, portanto, são totalmente consumidos na reação com o ácido acético.

Considere uma solução-tampão que contenha 0,10 mol de ácido acético ($pK_a = 4{,}74$ a 25 °C) e 0,13 mol de acetato de sódio em 1,00 L de solução. O par ácido-base conjugado é CH_3COOH/CH_3COO^-. Estudamos anteriormente que um ácido fraco em solução aquosa apresenta apenas uma pequena parte de suas moléculas ionizada; já o sal se dissocia em grande extensão e é a principal fonte dos ânions acetato, que constituem a base conjugada do sistema-tampão. Dessa maneira, podemos considerar as concentrações do ácido acético e do ânion acetato iguais às suas concentrações iniciais, porque a variação das concentrações é mínima entre a etapa inicial e o equilíbrio. Assim:

$$\text{pH} = 4{,}74 + \log\left(\frac{0{,}13}{0{,}10}\right) \Rightarrow \text{pH} = 4{,}74 + 0{,}11 \therefore \text{pH} = 4{,}85$$

Vamos considerar a adição de 0,02 mol de hidróxido de potássio (KOH), uma base forte, a essa solução-tampão, também a 25 °C. Os íons $OH^-(aq)$ adicionados reagem com o ácido acético, diminuindo sua concentração e aumentando a concentração da base conjugada (o ânion acetato). Dessa vez, as variações das concentrações não podem ser desprezadas.

Esclareça aos estudantes que os íons $H^+(aq)$ estão em menor quantidade e, portanto, são totalmente consumidos na reação com o ânion acetato.

	$CH_3COOH(aq)$	+	$OH^-(aq)$	$\rightleftharpoons$	$H_2O(\ell)$	+	$CH_3COO^-(aq)$
Início	0,10 mol L^{-1}		0,02 mol L^{-1}		—		0,13 mol L^{-1}
Variação	–0,02 mol L^{-1}		–0,02 mol L^{-1}		—		+0,02 mol L^{-1}
Equilíbrio	0,08 mol L^{-1}		0		—		0,15 mol L^{-1}

$$\text{pH} = \text{p}K_a + \log\left(\frac{[CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]}\right) \Rightarrow \text{pH} = 4{,}74 + \log\left(\frac{0{,}15}{0{,}08}\right) \Rightarrow \text{pH} = 4{,}74 + 0{,}27 \therefore \text{pH} = 5{,}01$$

Raciocínio semelhante é utilizado para calcular o pH da solução-tampão após a adição de um ácido forte. Vamos considerar a adição de 0,02 mol de ácido nítrico (HNO_3) à solução-tampão inicial do exemplo. Dessa vez, os íons $H^+(aq)$ adicionados reagem com os ânions acetato do sistema, diminuindo a concentração do ânion e aumentando a do ácido fraco.

	$CH_3COO^-(aq)$	+	$H^+(aq)$	$\rightleftharpoons$	$CH_3COOH(aq)$
Início	0,13 mol L^{-1}		0,02 mol L^{-1}		0,10 mol L^{-1}
Variação	–0,02 mol L^{-1}		–0,02 mol L^{-1}		+0,02 mol L^{-1}
Equilíbrio	0,11 mol L^{-1}		0		0,12 mol L^{-1}

$$\text{pH} = \text{p}K_a + \log\left(\frac{[CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]}\right) \Rightarrow \text{pH} = 4{,}74 + \log\left(\frac{0{,}11}{0{,}12}\right) \Rightarrow \text{pH} = 4{,}74 - 0{,}038 \therefore \text{pH} = 4{,}70$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A solução-tampão inicial tem pH igual a 4,85. Ao adicionarmos uma pequena quantidade de base forte e de ácido forte, percebemos, pelos cálculos, que a variação no pH é pequena porque o pH final é 5,01 no primeiro caso e 4,70 no segundo caso. Para avaliar a eficiência do tampão, compare esses resultados com os níveis de acidez que obteríamos se adicionássemos 0,02 mol de KOH e de HNO_3 a 1 L de água a 25 °C: pH = 12 e pH = 2, respectivamente; ou seja, uma variação de cinco unidades em relação ao valor inicial (pH = 7). Em geral, um tampão é efetivo em compensar adições de ácido e de base fortes enquanto a razão entre o ácido e a base conjugada se mantiver entre 10^{-1} e 10^{1}, sendo máxima quando ela é igual a 10^{0}.

$$10^{-1} < \frac{[A^-]}{[HA]} < 10^{1}$$

Equilíbrio de solubilidade e formação de cáries

O dente é composto de três camadas: esmalte (superfície branca), dentina e polpa, da mais externa para a mais interna. O esmalte é formado, majoritariamente, por hidroxiapatita, uma substância insolúvel em água que protege as partes internas do dente.

Para compreender como a cárie é formada, vamos estudar o processo de desmineralização ou reação de dissolução da hidroxiapatita, representada pela equação química a seguir.

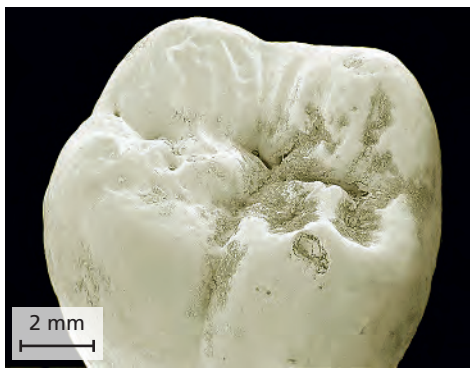
$$Ca_5(PO_4)_3(OH)(s) \overset{H_2O}{\rightleftharpoons} 5\ Ca^{2+}(aq) + 3\ PO_4^{3-}(aq) + OH^-(aq)$$

Nesse equilíbrio químico, uma das substâncias envolvidas é sólida, e as demais estão em solução aquosa, formando um sistema heterogêneo.

Por convenção, a constante de equilíbrio entre um sólido e seus íons dissolvidos é denominada **produto de solubilidade** (K_s) e, para o equilíbrio de desmineralização/mineralização do dente que envolve a hidroxiapatita, é escrita na forma:

$$K_s = [Ca^{2+}]^5[PO_4^{3-}]^3[OH^-] \simeq 1{,}0 \cdot 10^{-59}\ (25\ °C)$$

Note que os valores de concentração em quantidade de substância dos íons são elevados aos respectivos coeficientes estequiométricos da equação química balanceada. O K_s representa a máxima concentração de íons possível em solução a uma dada temperatura.



DAVID MCCARTHY/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

Dente molar com cáries, caracterizadas pelas partes cinza-escuro da superfície. (Imagem obtida de microscópio eletrônico de varredura e ampliada cerca de cinco vezes.)

Quando nos alimentamos com substâncias de caráter ácido ou com glicídios fermentáveis pelas bactérias que habitam a boca, o valor de pH bucal diminui, em função do aumento da concentração de íons $H^+(aq)$. Esses íons interferem no equilíbrio de desmineralização/mineralização da hidroxiapatita ao reagirem com os íons $OH^-(aq)$, formando $H_2O(\ell)$. Em consequência dessa reação de neutralização, a concentração de íons $OH^-(aq)$ em solução diminui.

A redução do pH bucal favorece a reação direta, ou seja, a dissolução da hidroxiapatita presente no esmalte dos dentes, desmineralizando-os. Isso os deixa mais vulneráveis ao surgimento de cáries.

O íon fluoreto (F^-) está presente nos cremes dentais, na água de abastecimento ou em uma solução aplicada diretamente pelo dentista. Esse íon interage com íons cálcio (Ca^{2+}) e fosfato (PO_4^{3-}), formando a fluorapatita, $Ca_5(PO_4)_3F$, que modifica a composição do esmalte dos dentes. O equilíbrio de solubilidade e a constante associada a esse composto são representados a seguir.

Peça aos estudantes que retomem os equilíbrios estudados anteriormente e comparem os coeficientes estequiométricos das equações químicas com as expressões das constantes de equilíbrio.

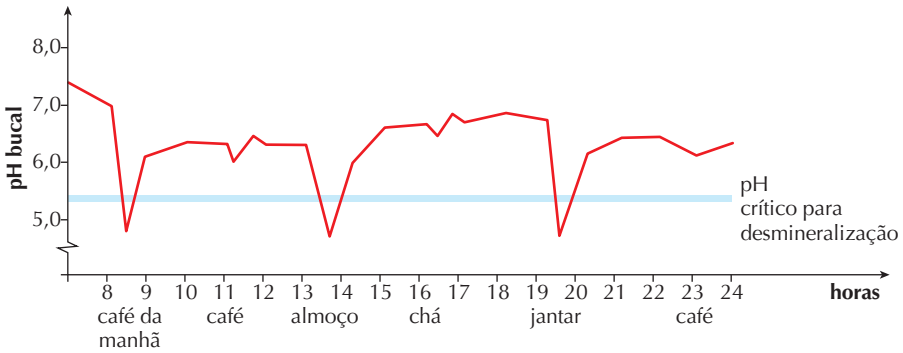
$$Ca_5(PO_4)_3F(s)) \overset{H_2O}{\rightleftharpoons} 5\ Ca^{2+}(aq) + 3\ PO_4^{3-}(aq) + F^-(aq)$$

$$K_s = [Ca^{2+}]^5\left[PO_4^{3-}\right]^{-3}[F^-] \simeq 1{,}0 \cdot 10^{-60}\ (25\ °C)$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O valor de K_s da fluorapatita é menor que o da hidroxiapatita, indicando que o composto $Ca_5(PO_4)_3F$ apresenta maior tendência a precipitar no dente durante os processos de desmineralização/remineralização do que a hidroxiapatita. Na presença de fluorapatita, o pH crítico para a desmineralização dos dentes cai para 4,5. Entre esse valor e 5,5, a dissolução da hidroxiapatita é compensada pela precipitação de fluorapatita se houver íons fluoreto na cavidade bucal.

Variação do pH bucal em função da rotina alimentar



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: MARSH, P. D.; MARTIN, M. V. **Oral microbiology**. 5. ed. London: Elsevier, 2009.

Representação gráfica da variação do pH da boca em função das refeições consumidas no período de um dia.

Sendo assim, a fluoretação da água potável nas estações de tratamento de água para abastecimento é uma medida de baixo custo relativo, de fácil aplicação e de grande eficácia que, pela sua abrangência, diminui o impacto negativo das desigualdades socioeconômicas sobre a saúde bucal da população.

Fique por dentro

POLÍTICA Nacional de Saúde Bucal (PNSB).

Disponível em: https://www.gov.br/saude/pt-br/composicao/saps/pnsb. Acesso em: 23 set. 2024.

Site com artigos, *links* para órgãos públicos, ações afirmativas do governo, legislação e pontos de atendimento e serviços gratuitos para garantir a saúde bucal.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

4. Sobre a formação da cárie e o equilíbrio da mineralização/desmineralização do esmalte, afirma-se que:

I. O consumo de quaisquer carboidratos, seja na forma de doces ou de pães, colabora igualmente para a formação da cárie dentária.

II. Uma pessoa que come um pedaço de bolo de chocolate depois do almoço prejudica menos a saúde bucal do que quem come balas, principalmente as que têm consistência pegajosa.

III. Há alimentos que não colaboram para a diminuição do pH bucal, pois não são metabolizados pelas bactérias.

IV. O uso de cremes dentais que auxiliam no controle do pH bucal colabora para que as taxas de mineralização e desmineralização sejam iguais, de modo que o esmalte dentário se mantenha saudável.

São verdadeiras apenas as afirmações 4. Alternativa **a**.

a. II, III e IV.
b. I, II e III.
c. II e IV.
d. I e III.
e. II e III.

5. Os corais são animais estruturados sobre um esqueleto de carbonato de cálcio ($CaCO_3$) denominado coralito. As suas belas cores, porém, vêm das algas que vivem em simbiose com esses animais. Essa harmonia, contudo, é sensível e pode ser quebrada por variações na temperatura e na acidez das águas ocasionadas, por exemplo, pela ação da poluição.

ODS 13

ODS 14

Explique por que a acidez da água pode interferir na formação do esqueleto dos corais e resultar no problema indicado no enunciado. Informações: o carbonato é uma base de Brønsted-Lowry; o hidrocarbonato de cálcio é solúvel em água.

6. Para compostos iônicos que se dissociam na proporção 1 : 1 para cátion e ânion (exemplo: $CaCO_3$), a constante de solubilidade (K_s) pode ser calculada pela fórmula: $K_s = S^2$, em que S é a solubilidade.

Já para compostos que se dissociam na proporção 1 : 2 (exemplo: Ag_2SO_4), a fórmula é: $K_s = 4S^3$. Mostre a dedução da fórmula que relaciona a solubilidade com a constante de solubilidade para os compostos iônicos que se dissociam na proporção 1 : 3 (exemplo: $A\ell(OH)_3$).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADES DE FECHAMENTO

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. Aquários de água doce requerem constante monitoramento do pH, porque a maioria das espécies de peixes e plantas de água doce vive em ambientes naturais que apresentam pH entre 6 e 8; logo, o controle do pH é essencial para garantir a sobrevivência dessas espécies. Se a água do aquário apresentar pH abaixo da faixa ideal, o procedimento indicado para ajustá-lo é adicionar uma substância que em solução aquosa aumenta a concentração de 1. Alternativa **d**.

a. íons H^+, para diminuir o valor de pOH.
b. íons H^+, para diminuir o valor de pH.
c. íons H^+, para aumentar o valor de pOH.
d. íons OH^-, para diminuir o valor de pOH.
e. íons OH^-, para aumentar o valor de pOH.

2. (Fuvest-SP) Dependendo do pH do solo, os nutrientes nele existentes podem sofrer transformações químicas que dificultam sua absorção pelas plantas. O quadro mostra algumas dessas transformações, em função do pH do solo. 2. Alternativa **c**.

Elementos presentes nos nutrientes	pH do solo (4 5 6 7 8 9 10 11)
Fósforo	Formação de fosfatos de ferro e de alumínio, pouco solúveis em água — Formação de fosfatos de cálcio, pouco solúveis em água
Magnésio	Formação de carbonatos pouco solúveis em água
Nitrogênio	Redução dos íons nitrato a íons amônio
Zinco	Formação de hidróxidos pouco solúveis em água

Para que o solo possa fornecer todos os elementos citados no quadro, o seu pH deverá estar entre

a. 4 e 6.
b. 4 e 8.
c. 6 e 7.
d. 6 e 11.
e. 8,5 e 11.

3. O termo "força" no contexto da comparação entre ácidos ou entre bases não tem relação com o uso que a Física faz dessa palavra. Em Química, ele está relacionado à intensidade de uma propriedade característica dessas espécies químicas. Uma forma bastante adequada de comparar ácidos e bases é analisar as constantes de equilíbrio das reações de transferência de prótons na presença de água.

Constantes de equilíbrio

Ácido	K_a, 25 °C
Fluoreto de hidrogênio, HF	$7{,}1 \cdot 10^{-4}$
Amônio, NH_4^+	$5{,}6 \cdot 10^{-10}$
Base	**K_b, 25 °C**
Fluoreto, F^-	$1{,}4 \cdot 10^{-11}$
Amônia, NH_3	$1{,}8 \cdot 10^{-5}$

Comparação de constantes de equilíbrio de ácidos e bases.

Fonte: CHANG, R.; OVERBY, J. **Chemistry**. 14th ed. New York, NY: McGrawHill, 2022.

Uma análise dos dados apresentados na tabela permite afirmar corretamente que 3. Alternativa **e**.

a. a tendência em doar um próton é maior no cátion amônio do que no fluoreto de hidrogênio.
b. a base conjugada do fluoreto de hidrogênio é mais forte do que a base conjugada do íon amônio.
c. a água, ao formar íon oxônio, $H_3O^+(aq)$, em uma reação, é classificada como um ácido pela teoria ácido-base protônica.
d. quando o fluoreto de amônio, $NH_4F(s)$, é dissolvido em água, forma-se uma solução de caráter básico.

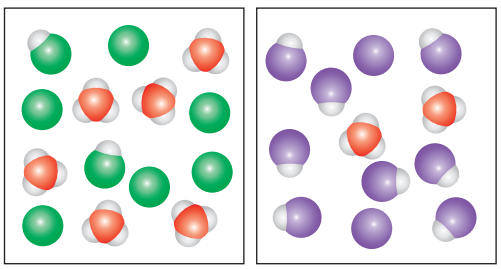
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Continua

e. o produto da constante de acidez do fluoreto de hidrogênio e da constante de basicidade do fluoreto é, aproximadamente, igual ao produto iônico da água na mesma temperatura.

4. Os modelos submicroscópicos a seguir representam a ionização de dois ácidos fracos, identificados como HX e HZ, em solução aquosa, nos quais, por simplificação, as moléculas de água não foram ilustradas. Com base neles, coloque os ácidos em ordem decrescente de K_a.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA



HX HZ

(Imagem sem escala; cores-fantasia.)

5. A representação esquemática a seguir corresponde a uma reação em meio aquoso. Analise-a e faça o que se pede.

ácido nítrico + água ⇌ íon oxônio + íon nitrato

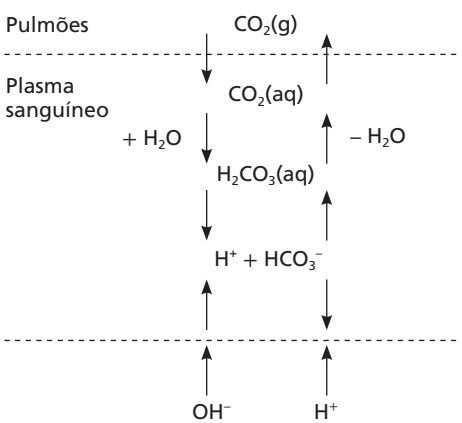
a. Transcreva em seu caderno a equação química utilizando as fórmulas das espécies químicas indicadas.

b. Explique por que podemos classificar as espécies representadas como ácidos e bases de Brønsted-Lowry.

c. Identifique os pares ácido-base conjugada e base-ácido conjugado.

6. (Uema) Um sistema-tampão mantém um pH quase constante porque neutraliza pequenas quantidades de ácido ou base adicionadas à solução.

No nosso corpo, o pH é mantido em torno de 7,4 por vários pares de tampões que impedem a acidose (pH sanguíneo abaixo de 7,35) como também a alcalose (pH acima de 7,45), pois a morte pode resultar de aumentos ou de diminuições relativamente pequenas de pH. Os principais sistemas-tampão do sangue consistem de ácido carbônico (H_2CO_3) e íon hidrogenocarbonato (HCO_3^-) que atuam, conforme o seguinte esquema:



a. Com base no esquema, explique por meio de reação química, o que ocorre com a concentração de CO_2 no sangue, ao se adicionarem íons H^+.

b. As concentrações dos principais sistemas tamponantes do sangue devem estar em equilíbrio, para que o pH do sangue fique dentro dos limites normais. Explique, por meio de reação química, o que ocorre ao equilíbrio quando uma base entra no sangue.

7. A saliva constitui uma solução-tampão capaz de neutralizar o excesso de ácido presente na boca. O pH da saliva apresenta uma variação maior que a variação do pH do sangue; no entanto, para a maioria das pessoas, ela apresenta pH em torno de 6,6 antes das refeições e em torno de 7,2 durante as refeições. Esses valores são mantidos por um sistema que inclui, entre outros tampões, di-hidrogenofosfato e hidrogenofosfato:

$$H_2PO_4^-(aq) + H_2O(\ell) \rightleftharpoons HPO_4^{2-}(aq) + H_3O^+(aq)$$

Explique, usando o quociente de reação (Q_c), o que ocorre com esse equilíbrio quando ingerimos alguma substância de caráter ácido.

8. Uma amostra de vinagre a 25 °C tem pH igual a 3,0. Supondo que o único ácido presente na amostra seja o ácido acético, calcule a concentração em quantidade de substância desse ácido no vinagre.

[Dado: CH_3COOH, $K_a = 1{,}8 \cdot 10^{-5}$ a 25 °C.]

9. Determinado tipo de bactéria, para se desenvolver, precisa de ambiente com pH = 6,70 ± 0,05. Um laboratório começará a cultivar essas bactérias para estudo e, para isso, o estagiário cogita preparar um sistema-tampão com uma solução 0,04 mol L^{-1} de hidrogenofosfato de sódio e 0,08 mol L^{-1} de di-hidrogenofosfato de sódio.

a. Determine o pH dessa solução e justifique se ela atenderá às necessidades para o cultivo da bactéria.

b. Será adicionado 0,01 mol de hidróxido de sódio a 1 L da solução anteriormente preparada. A nova solução atenderá às necessidades do meio para o cultivo da bactéria?

[Dados: $pK_a = 6{,}86$; log 0,50 = –0,30; log 0,71 = –0,15.]

10. Por que é comum que dentistas indiquem o enxágue dos dentes com solução aquosa de bicarbonato de sódio para pacientes com presença recorrente de cáries?

11. Toda vez que nos alimentamos, resíduos ficam depositados em nossos dentes e, se a higienização não for realizada corretamente, o ambiente bucal fica propício à proliferação de bactérias e à formação de placas bacterianas. As bactérias degradam os carboidratos dos alimentos, produzindo ácidos que desmineralizam o esmalte dos dentes, dando origem às cáries.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Para prevenir as cáries, adiciona-se o flúor à água potável distribuída à população; essa prática é chamada fluoretação e é uma importante medida de saúde pública.

Isso ocorre porque o flúor se une ao cálcio e ao fosfato, naturalmente presentes no esmalte dos dentes, criando um material resistente, que ajuda a prevenir as cáries.

Com base na leitura do texto, podemos concluir corretamente que 11. Alternativa **e**.

a. a higiene bucal, quando realizada com eficiência diariamente, ocasiona um elevado índice de proliferação de bactérias e de formação de placas bacterianas.

b. a ação de bactérias na degradação dos carboidratos aumenta a acidez bucal, que é fundamental para o processo de proteção e de mineralização dos dentes.

c. o flúor, adicionado à água potável, atua na digestão dos resíduos alimentares que ficam na cavidade bucal quando a higienização não é realizada corretamente.

d. a fluoretação da água aumenta a desmineralização do esmalte dos dentes, reduzindo o aparecimento de cáries, por isso é um processo importante na saúde bucal.

e. o flúor é usado na prevenção de cáries, pois fortalece o esmalte dos dentes, formando um material resistente à acidez decorrente da ação de bactérias.

12. No início da década de 2010, pesquisadores da Universidade de Harvard, nos Estados Unidos, desenvolveram uma técnica que permite produzir materiais em escala nanométrica com estruturas tridimensionais que lembram flores. Uma etapa do processo envolve a precipitação de carbonato de bário ($BaCO_3$) a partir da reação entre os íons bário em solução e o gás carbônico do ar.

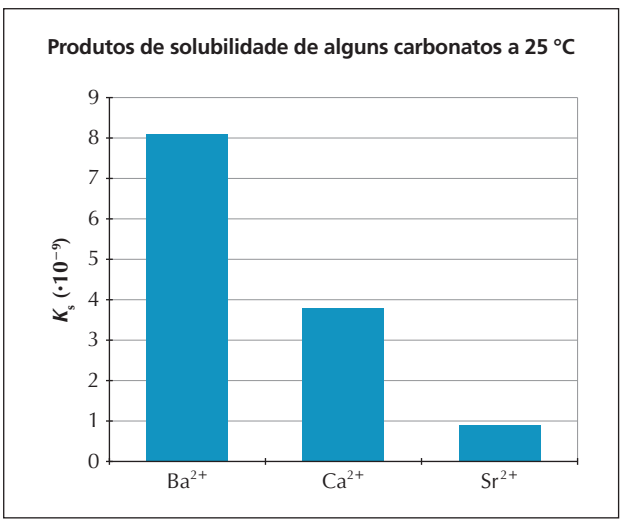
Fonte: elaborado com base em PERRY, C. Beautiful "flowers" self-assemble in a beaker. **School of Engineering and Applied Sciences**, 16 maio 2013. Disponível em: https://seas.harvard.edu/news/2013/05/beautiful-flowers-self-assemble-beaker. Acesso em: 23 set. 2024.

Suponha que se deseje testar, no desenvolvimento desses nanomateriais, os cátions bário, cálcio e estrôncio. Para isso, foram preparadas a 25 °C soluções aquosas $1{,}0 \cdot 10^{-6}$ mol L^{-1} dos cloretos desses cátions.

Com base no gráfico, faça o que se pede.

a. Determine qual carbonato vai cristalizar primeiro.

b. Estime a concentração de íons carbonato (CO_3^{2-}) necessária para que os cristais comecem a se formar.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação gráfica dos produtos de solubilidade dos carbonatos de bário, cálcio e estrôncio a 25 °C.

Reflita sobre seu aprendizado!

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

Agora que o trabalho com esta unidade foi finalizado, é o momento de você refletir sobre seu aprendizado e identificar novos interesses para continuar aprendendo. Para isso, analise e responda às questões a seguir.

- Retome as questões da seção **Pense nisso!** na abertura desta unidade e avalie se concorda com suas respostas anteriores depois das discussões realizadas ao longo do estudo dos capítulos. Reescreva-as, se for necessário.
- O que você aprendeu acerca dos assuntos abordados nesta unidade?
- Quais assuntos/atividades geraram mais dificuldades para sua aprendizagem? Como você superou essas dificuldades?
- Reveja os pontos que deixaram dúvidas e que não foram bem compreendidos. Converse sobre eles com os colegas e com o professor a fim de planejarem outras possíveis estratégias de estudo.
- O que mais você gostaria de saber sobre os conteúdos abordados nesta unidade?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

EDUCAÇÃO MIDIÁTICA

OBJETO DIGITAL Carrosel de imagens: Ativismo nas redes.

Influência das redes sociais na saúde

As redes sociais transformaram a forma como nos comunicamos, consumimos informações e interagimos com o mundo. Essa plataforma digital que conecta bilhões de pessoas também exerce influência significativa em nossa saúde, tanto física quanto mental. Um dos aspectos mais visíveis dessa influência é a crescente popularidade dos influenciadores *fitness*, que compartilham seu estilo de vida saudável e suas rotinas de treino e dieta.

A popularização desses conteúdos pode gerar benefícios para a saúde dos usuários das redes sociais. Ao compartilhar conhecimentos e experiências nesses espaços, os profissionais de saúde podem inspirar a prática de atividade física, mostrando resultados e rotinas de treino acessíveis e motivar pessoas sedentárias a iniciarem a prática de exercícios físicos. Há, ainda, a promoção de hábitos alimentares saudáveis, com o compartilhamento de receitas saudáveis e dicas para uma alimentação equilibrada.

A disseminação de conteúdo sobre estética nas redes sociais apresenta alguns riscos e problemas. A falta de regulamentação e a busca por *likes* e seguidores podem levar alguns influenciadores a compartilharem informações falsas ou enganosas sobre saúde, procedimentos e nutrição. Além disso, seus conteúdos podem reforçar padrões de beleza excludentes, dietas prejudiciais e a indicação de suplementos ou medicamentos que, sem o devido acompanhamento médico, podem acarretar mais danos do que benefícios à saúde.

> [...] De acordo com o levantamento [do Departamento de Saúde e Serviços Humanos dos Estados Unidos], cerca de 95% dos jovens americanos de 13 a 17 anos relatam o uso de pelo menos uma das plataformas, e mais de 30% dizem que usam as mídias sociais "quase constantemente".
>
> Segundo o Departamento, adolescentes que passam mais de três horas por dia conectados enfrentam o dobro do risco de desenvolverem problemas relacionados à saúde mental, com sintomas de depressão e ansiedade – uma pesquisa recente de 2021 constatou que, em média, eles passam 3,5 horas por dia nas mídias sociais.
>
> As redes também podem perpetuar a insatisfação corporal, comportamentos alimentares desordenados, comparação social e baixa autoestima. Quando questionados sobre o impacto das redes sociais em sua imagem corporal, 46% dos adolescentes de 13 a 17 anos disseram que as mídias sociais os fazem sentir piores. Além disso, 64% desses jovens são "frequentemente" ou "às vezes" expostos a conteúdo baseado no ódio por meio dessas mídias.
>
> [...]
>
> Mitch Prinstein, diretor científico da Associação Americana de Psicologia, afirma que os jovens são mais vulneráveis às redes pelo fato de seus cérebros ainda estarem em desenvolvimento. Por exemplo, o córtex pré-frontal – que fica atrás da testa e é responsável por tarefas como avaliar consequências e planejar – ainda está amadurecendo durante a puberdade.
>
> [...] "O centro de inibição do cérebro que diz, 'talvez não siga cada impulso e instinto que você tem' não está totalmente desenvolvido", completou.
>
> [...]

Fonte: MORAES, L. Nova York processa redes sociais por impacto na saúde mental dos jovens. **Veja**, 7 maio 2024. Disponível em: https://veja.abril.com.br/saude/nova-york-processa-redes-sociais-por-impacto-na-saude-mental-dos-jovens. Acesso em: 23 set. 2024.

Para aproveitar os benefícios das redes sociais e evitar seus riscos, é importante ser um consumidor crítico de conteúdos de beleza e saúde. Algumas dicas úteis são:

1. **Verifique a credibilidade da fonte.** Busque canais de profissionais da área da saúde que tenham formação e experiência comprovadas.
2. **Não compare seu corpo com o de outras pessoas.** Cada pessoa tem um biotipo e um ritmo diferentes. O importante é encontrar um estilo de vida saudável compatível a suas necessidades e preferências.
3. **Consulte um profissional.** Antes de iniciar qualquer programa de treino, procedimento estético ou dieta, consulte um médico ou nutricionista para uma avaliação individualizada.
4. **Seja realista.** Resultados duradouros exigem tempo e dedicação. Evite dietas milagrosas e promessas de resultados rápidos.
5. **Priorize a saúde mental.** Se você perceber que as redes sociais estão afetando negativamente sua autoestima ou sua saúde mental, faça uma pausa e busque ajuda profissional.

Visite perfis de influenciadores digitais da área da saúde e da beleza e observe a quantidade de seguidores que eles têm e as interações ocorridas em suas postagens, por meio de comentários ou de compartilhamentos de seus conteúdos. Em seguida, responda e discuta com um colega as perguntas a seguir.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. Leia a tirinha a seguir.

   a. O que personagem quis dizer com "é preciso muito esforço pra ter um corpo perfeito"? Como essa afirmação reflete as expectativas da sociedade sobre a aparência física?
   b. Qual é a mensagem que o autor da tirinha pretende transmitir por meio do humor?

2. Quais são as consequências positivas ou negativas ao curtir, comentar ou compartilhar um conteúdo sobre saúde?

3. Que comportamentos podemos adotar para interagir com conteúdo de influenciadores digitais com mais cuidado e responsabilidade?

Ampliação de repertório

Vamos compreender melhor as estratégias adotadas por influenciadores digitais, sobretudo no que se refere à construção de sua credibilidade, isto é, a confiança que depositamos em alguém ou em alguma informação. No caso de influenciadores digitais, a credibilidade está ligada à certeza que temos de que o que eles falam é verdadeiro e confiável. Para ser considerado crível, um influenciador precisa demonstrar:

- **Autoridade:** *expertise* e o conhecimento especializado que possui. Devemos buscar informações sobre a formação acadêmica, certificações e atuação profissional do influenciador.
- **Autenticidade:** características pessoais cativantes e habilidades relacionais do influenciador. Devemos analisar como o influenciador constrói suas interações com os seguidores e a capacidade de engajamento em seus conteúdos.
- **Linguagem:** forma eficiente de se expressar. Nesse sentido, devemos avaliar a clareza, a objetividade e outros elementos que tornam a mensagem interessante.

Agora, junte-se a um colega para levantar uma lista de duas a quatro características acerca da autoridade, autenticidade e linguagem dos influenciadores digitais que você identificou anteriormente.

Depois, explique como as características mapeadas referentes à autenticidade e à linguagem usadas pelo(a) influenciador(a) escolhido podem incentivar, de fato, seus seguidores a adotar as atitudes esperadas. Que consequências benéficas e prejudiciais isso pode acarretar?

Produção de conteúdo

Agora é o momento de compartilhar suas conclusões, de forma criativa, com outras pessoas. Sugerimos que você se reúna a mais três colegas e produzam uma animação de 1 a 3 minutos sobre cuidados que devemos ter com informações sobre saúde nas redes sociais. Use elementos visuais e sonoros, como trilha musical sem letra e uma narração, que pode ser feita por um dos integrantes do grupo ou gerada por inteligência artificial.

Autoavaliação

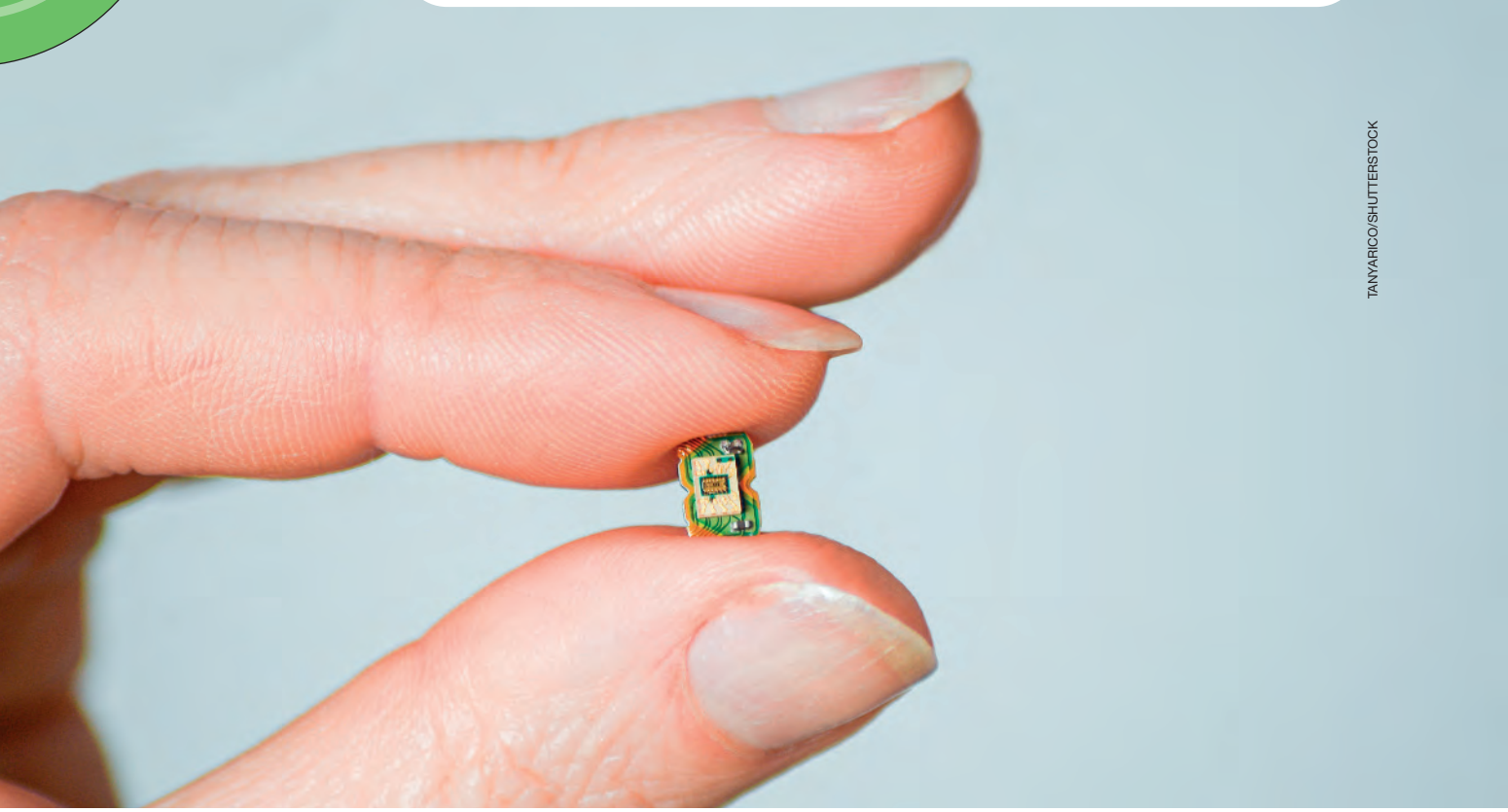
Neste espaço você vai poder identificar seus pontos fortes e oportunidades de melhoria em seu processo de aprendizagem. Anote no caderno o nível de desempenho para cada critério listado a seguir. Combine previamente com o professor o que é esperado para os níveis de desempenho: avançado, adequado, satisfatório e insuficiente. Seguem os critérios adotados para essa proposta:

- Refletir sobre as práticas de curtir, comentar e compartilhar *posts* nas redes sociais e suas consequências.
- Analisar conteúdos sobre saúde nas redes sociais e avaliar a responsabilidade de seus autores.
- Interpretar aspectos relativos a autoridade, autenticidade e linguagem dos discursos dos influenciadores.
- Criar animação sobre credibilidade da informação sobre saúde nas redes sociais.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

UNIDADE 6

MUNDO TECNOLÓGICO



TANYARICO/SHUTTERSTOCK

A nanotecnologia desempenha um papel fundamental no desenvolvimento de computadores mais potentes e sua influência está particularmente ligada à fabricação de componentes eletrônicos extremamente pequenos e eficientes.

Nesta unidade, vamos inicialmente tratar da tecnologia em escala nanométrica, a **nanotecnologia**, abordando diversas aplicações no cotidiano. Em seguida, vamos estudar os fenômenos básicos que envolvem a corrosão dos materiais, bem como os métodos utilizados para evitá-la, as propriedades físicas das soluções e as diferentes formas de expressar suas concentrações, e, por fim, os métodos de separação de misturas no âmbito da análise forense.

O tema desta unidade também é trabalhado nos volumes de Biologia e de Física desta coleção.

Pense nisso!

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

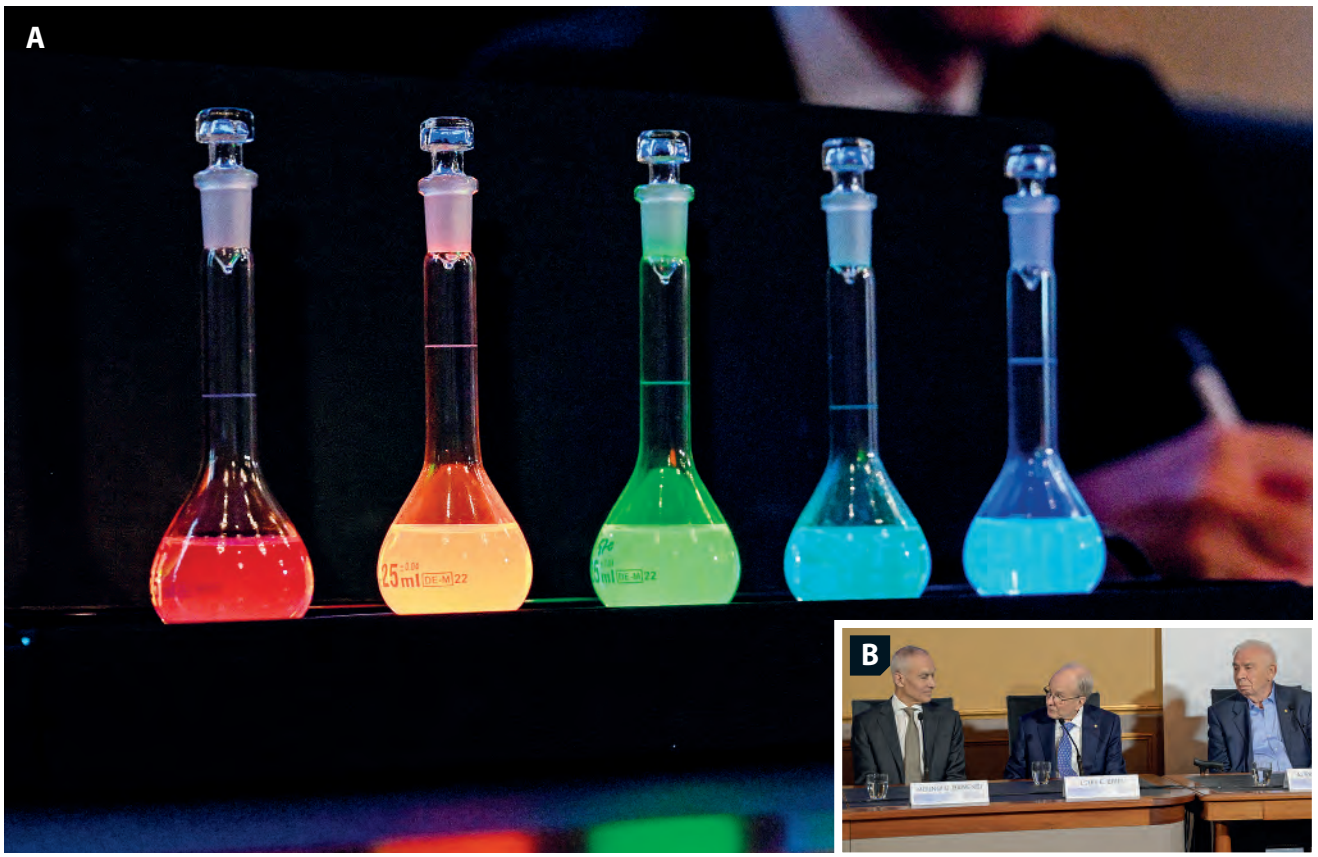
Registre em seu caderno

1. Cite pelo menos três situações em que a nanotecnologia faz parte do seu cotidiano.
2. Uma esponja de aço, quando mantida em local úmido por alguns dias, passa por modificações: adquire um tom avermelhado e se torna quebradiça. Por que isso acontece? O que você sugere para prolongar a vida útil desse material?
3. O teste da proveta é realizado para avaliar se a gasolina comercializada está adulterada. Ele consiste na mistura de partes iguais e exatas de água e gasolina. Após agitação, é possível constatar a quantidade de etanol que foi adicionada à gasolina, pois o volume da fase aquosa se torna maior do que o inicial. Tente explicar, do ponto de vista físico-químico, como esse teste funciona.
4. Como o desenvolvimento científico e tecnológico contribui para aprimorar a produção e o uso dos medicamentos?

A abertura proposta possibilita refletir sobre os impactos positivos e negativos decorrentes dos avanços científicos e tecnológicos, além de apresentar perspectivas sobretudo em relação à nanotecnologia. O trabalho em conjunto dos componentes curriculares da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias pode ser realizado por meio de um debate sobre quais problemas sociais e ambientais, no Brasil e no mundo, devem ser priorizados por pesquisadores, empresas e governos.

Capítulo 21

Nanociência



JONATHAN NACKSTRAND/AFP/GETTY IMAGES

FREDRIK SANDBERG/TT NEWS AGENCY/AFP/GETTY IMAGES

(A) "Pontos quânticos", nanopartículas que podem ser produzidas para emitir ou absorver comprimentos de onda de luz específicos por meio do ajuste de suas dimensões físicas. **(B)** Químico francês Moungi Bawendi (1961-), físico estadunidense Louis Brus (1943-) e físico russo Alexei Ekimov (1945-), ganhadores do Prêmio Nobel de Química de 2023.

O Prêmio Nobel de Química de 2023 foi concedido aos cientistas Bawendi, Brus e Ekimov pela descoberta e pela aplicação dos "pontos quânticos", expressão utilizada para descrever as nanopartículas de cristais feitas com algum material semicondutor e que podem ter entre 2 e 10 nanômetros de tamanho. Esses pontos quânticos exibem propriedades ópticas e eletrônicas únicas, como a capacidade de transportar elétrons e emitir luzes coloridas quando estimulados por luz ou eletricidade. Essas características revolucionaram produtos comerciais, como telas de televisão e lâmpadas LED, e têm aplicações promissoras em diversas áreas, incluindo a Medicina, na qual estão sendo explorados em tratamentos experimentais contra o câncer. A descoberta, que começou nos anos 1980 com o físico Alexei Ekimov, abriu caminho para avanços significativos na compreensão e manipulação de partículas em escala nano, proporcionando benefícios práticos à humanidade em diferentes áreas, desde a eletrônica flexível até o diagnóstico médico.

A Nanociência é o ramo das Ciências da Natureza voltado ao estudo e desenvolvimento de materiais com dimensões da ordem de unidades ou dezenas de nanômetros, denominados nanomateriais. Eles podem ocorrer naturalmente, como a cinza vulcânica e alguns minerais, ou ser produzidos por atividades humanas, o que engloba desde partículas expelidas pelo escapamento de veículos até processos controlados que permitem sintetizar partículas com tamanho e forma determinados.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

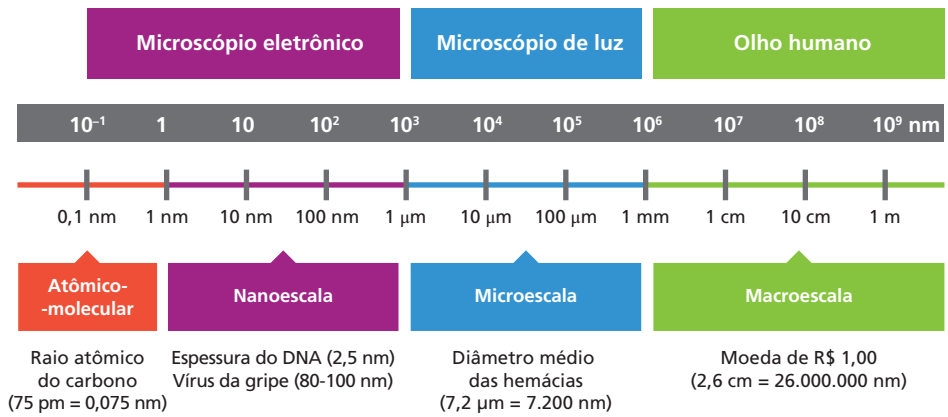
A ordem de grandeza nano

Imagine uma criança com 1 metro de altura. Se fôssemos descrever a altura dessa criança em escala nanométrica, diríamos que ela mede 1 bilhão de nanômetros (1.000.000.000 nm). O emprego da **escala nanométrica** para expressar a altura de pessoas não é nada prático. Dessa forma, a escala nanométrica, expressa em **nanômetro (nm)**, é utilizada para mensurar partículas menores, imperceptíveis a olho nu.

O prefixo **nano** se refere à bilionésima parte de alguma unidade de medida, logo, um nanômetro equivale a 1 bilionésimo de metro (1 nm = 10^{-9} m). Observe o esquema a seguir.

Deixe claro que a nanoescala é usada quando nos referimos aos nanomateriais. Nessa escala, tratamos da matéria com dimensões de alguns nanômetros (10^{-9} m) até alguns angstrons (10^{-10} m, simbolizado por Å). O termo **macroscópico**, por sua vez, é utilizado para descrever corpos que podem ser observados a olho nu.

Equivalência entre escala nanométrica e outras escalas métricas

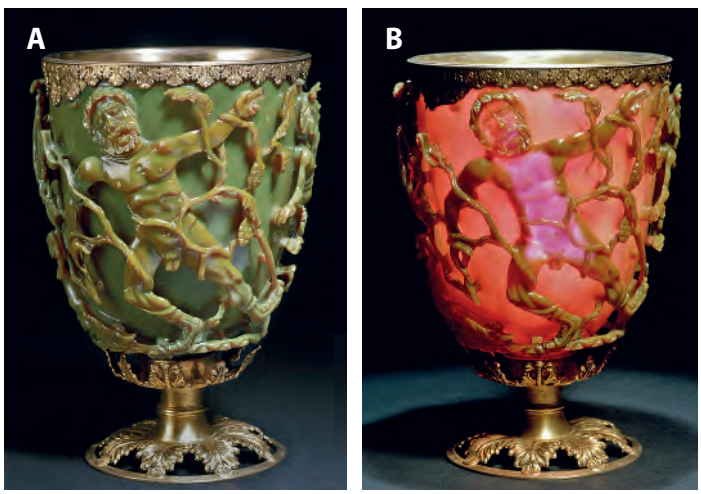


Fonte: elaborado com base em SILVA, D. G.; TOMA, H. E. **Nanotecnologia para todos!** São Paulo: Edição dos autores, 2018; LIDE, D. R. (editor da versão para internet) **Handbook of Chemistry and Physics**. 96th ed. Boca Raton: CRC Press, 2016; TURGEON, M. L. **Clinical hematology**: theory and procedures. 4th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2004.

O esquema indica, de forma aproximada, o tipo de microscopia que pode ser empregado para visualizar partículas que não podem ser distinguidas diretamente pelo olho humano.

Materiais com diferentes formas e tamanhos são considerados nanomateriais quando apresentam ao menos uma das suas dimensões em escala nanométrica com valor abaixo do **tamanho crítico**, ou seja, do tamanho em que uma ou mais propriedades (óptica, elétrica, magnética, catalítica etc.) são diferentes daquelas apresentadas por estruturas de mesma composição química, mas com dimensões maiores. Em geral, os nanomateriais costumam ser classificados em estruturas que apresentam uma das dimensões entre 1 nm e 100 nm; no entanto, essa faixa de valor não é fixa e pode diferir entre as propriedades do material.

Breve histórico dos nanomateriais



FOTOS: THE TRUSTEES OF THE BRITISH MUSEUM/FOTOARENA

Materiais que apresentam dimensões em escala nanométrica são produzidos há séculos. Esses nanomateriais eram usados como pigmento para vidro, como no caso do Cálice de Licurgo, objeto datado do século IV com origem na Roma Antiga. O Cálice de Licurgo é constituído de vidros que apresentam em sua composição nanopartículas de ouro e prata de 50 nm de diâmetro e, dependendo da posição da fonte de luz e do observador, o vidro pode apresentar coloração verde ou avermelhada.

Cálice de Licurgo, em exposição no Museu Britânico, na Inglaterra (altura: 15,9 cm e diâmetro: 13,2 cm). **(A)** Com iluminação externa (luz refletida). **(B)** Com iluminação interna (luz transmitida).

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O fato de as nanopartículas de ouro e prata não serem, respectivamente, douradas e prateadas é consequência de novas propriedades ópticas que as partículas desses metais apresentam na escala nanométrica. Essas propriedades manifestam-se em resposta à exposição do material à radiação eletromagnética.

Evidências mostram que os estudos científicos envolvendo nanomateriais tiveram início em meados do século XIX, quando o físico-químico britânico Michael Faraday (1791-1867) preparou suspensões de nanopartículas de ouro em água, como a da imagem a seguir. O objetivo de Faraday era estudar as propriedades ópticas dessas substâncias, como a cor. Mesmo sem saber da existência de nanomateriais e sem dispor de equipamentos capazes de dimensionar as partículas, ele propôs que as variações no tamanho das partículas de ouro tinham influência direta na sua coloração.

ROYAL INSTITUTION OF GREAT BRITAIN/ SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

Frasco contendo ouro coloidal (nanopartículas de ouro dispersas em água) preparado por Michael Faraday, em exposição na instituição científica Royal Institution, na Inglaterra.

No Suplemento para o professor há uma sugestão de texto que discute a história do surgimento da nanotecnologia.

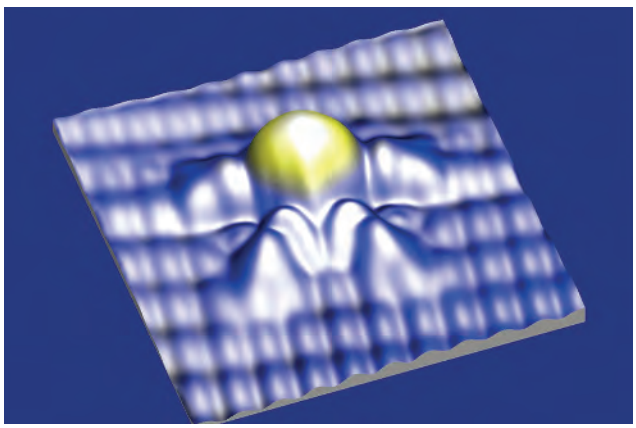
Em uma palestra realizada em 1959, o físico estadunidense Richard Feynman (1918-1988), ganhador do Prêmio Nobel de Física de 1965, fez observações sobre a possibilidade de manipular a matéria na escala atômico-molecular, bem como seus prováveis impactos para o desenvolvimento científico. Mas o termo "nanotecnologia", usado para designar o conjunto de técnicas empregadas na manipulação da matéria nessa escala, ainda não era utilizado pela comunidade científica. Ele surgiu somente em 1974, quando o engenheiro japonês Norio Taniguchi (1912-1999) discorreu a respeito dos materiais nanométricos, objeto de seus estudos.

A utilização de microscópios de luz para a visualização de estruturas em escala nanométrica não permite gerar imagens com resolução adequada para estudá-las. Assim, outros tipos de microscópios devem ser empregados para tal finalidade.

Um equipamento empregado para obter informações sobre tamanho e formato das nanoestruturas é o **microscópio eletrônico de varredura (MEV)**. Diferentemente dos microscópios de luz, que utilizam a radiação eletromagnética refletida ou emitida pela amostra para formar a imagem, o MEV gera a imagem pela interação dos elétrons lançados na amostra. O resultado dessa interação é a remoção de alguns elétrons da amostra e a emissão de radiação eletromagnética. Ambos podem ser detectados e transformados em dados digitais que são utilizados para formar as imagens das estruturas submicroscópicas.

Deixe claro que os microscópios mencionados não são capazes de fotografar os átomos e as moléculas. Simplificadamente, eles efetuam varreduras de superfície gerando sinais que são interpretados e convertidos em imagem por um computador.

A partir de 1981, após o desenvolvimento do **microscópio de varredura por tunelamento**, foi possível gerar imagens de materiais em nível atômico. O desenvolvimento desse equipamento por um grupo de pesquisadores na Suíça é considerado um grande marco para a nanotecnologia, pois permite observar a estrutura em escala nanométrica. As informações geradas por esse microscópio são enviadas a um computador que as transforma em imagem tridimensional, como mostra a imagem a seguir.



DRS A. YAZDANI &. D.J. HORNBAKER/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

Átomo de manganês, em amarelo, suportado em arseneto de gálio (GaAs), em azul. (Imagem obtida de um microscópio de varredura por tunelamento, colorizada artificialmente e ampliada cerca de 25 milhões de vezes.)

Atualmente, existem microscópios de varredura por tunelamento capazes de ampliar uma imagem de cerca de 300 mil até dezenas de milhões de vezes. Comparativamente, a ampliação máxima obtida por microscópios de luz é de cerca de mil vezes.

O mecanismo de funcionamento desse tipo de microscópio envolve fenômenos quânticos que, em geral, são estudados em níveis mais avançados e específicos de ensino.

Fique por dentro

A nanotecnologia das moléculas

TOMA, H. E. A nanotecnologia das moléculas. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 21, maio 2005. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc21/v21a01.pdf. Acesso em: 11 jun. 2024.

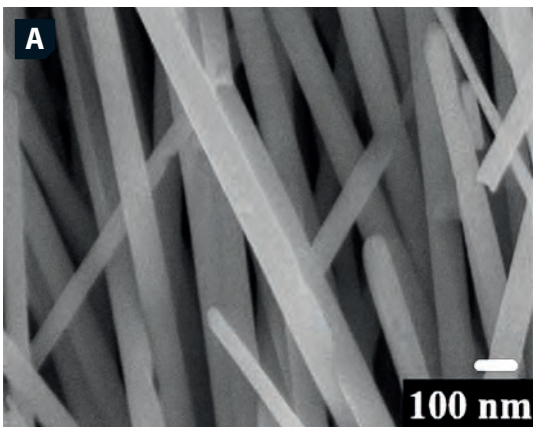
Esse artigo apresenta as perspectivas para a nanotecnologia no início do século XXI, com os avanços da nanociência ocorridos na década de 1980.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

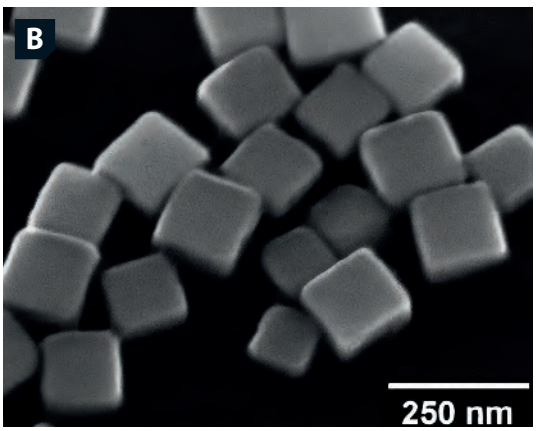
Estrutura e características dos nanomateriais

O interesse no desenvolvimento de nanomateriais está relacionado ao fato de que nessa escala as propriedades são únicas, ou seja, diferem das propriedades apresentadas em materiais na escala macroscópica. A manifestação de propriedades distintas ocorre em razão de efeitos de tamanho e de superfície que se tornam especialmente evidentes nesses materiais.

Como estudamos anteriormente, as propriedades específicas dos nanomateriais podem se manifestar quando uma de suas dimensões é menor do que o tamanho crítico. No entanto, essas dimensões nem sempre são equivalentes, pois os nanomateriais podem apresentar diferentes formatos, como nanofios, nanoesferas, nanocubos, entre outros. Esses formatos variam de acordo com o método empregado para sua síntese e influenciam as propriedades do material. É possível, inclusive, prever por Química Teórica e Computacional que formas as nanopartículas devem ter para apresentar uma propriedade de interesse.



NANOSHEL LLC © 2015-18

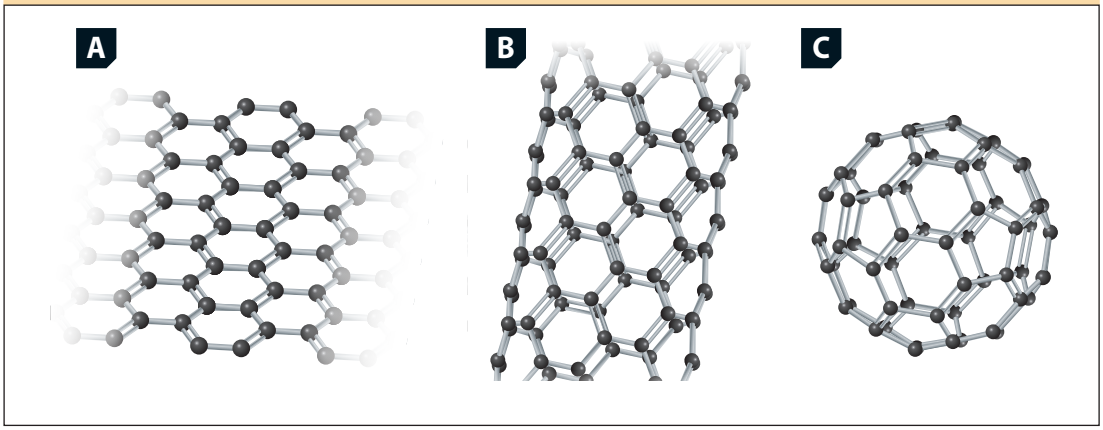


CHRISTINA SENGSTOCK/RESEARCH GATE

(A) Nanofios de dióxido de titânio, TiO_2. (Imagem obtida de microscópio eletrônico de varredura, ampliada cerca de 59 mil vezes.) **(B)** Nanocubos de prata, Ag. (Imagem obtida de microscópio eletrônico de varredura, ampliada cerca de 74 mil vezes.)

Nos exemplos apresentados nas imagens anteriores, as estruturas de nanopartículas não são uma consequência da composição química do material, ou seja, nem toda nanopartícula de prata metálica ou de dióxido de titânio será cúbica ou filamentosa, respectivamente. Materiais compostos de átomos do mesmo elemento químico podem se organizar tridimensionalmente de diferentes maneiras e, por isso, podem formar estruturas nanométricas variadas. Entre eles, destacam-se os nanomateriais formados por átomos de carbono, ilustrados a seguir.

Estrutura molecular de alguns nanomateriais de carbono



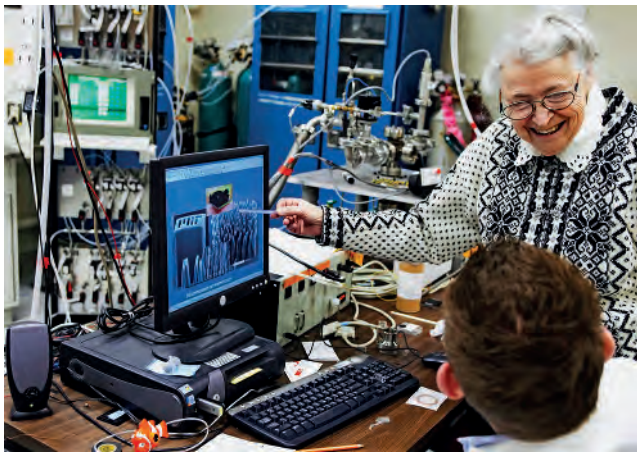
ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: CLANCY, A. J. *et al*. Charged Carbon Nanomaterials: Redox Chemistries of Fullerenes, Carbon Nanotubes, and Graphenes. **Chemical Reviews**, v. 118, p. 7363-7408, 2018.

Representações esquemáticas de nanomateriais de carbono. **(A)** Folha de grafeno. **(B)** Nanotubo de carbono. **(C)** Fulereno, C_{60}. As esferas pretas representam os átomos de carbono e os traços em cinza, ligações químicas entre eles. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

As folhas de grafeno são estruturas constituídas de um arranjo bidimensional formado por hexágonos de átomos de carbono. Os nanotubos de carbono podem ser formados por uma ou mais folhas de grafeno, em formato de tubo com cavidade interna oca e diâmetro de dimensão nanométrica. Eles apresentam elevada resistência química e física e baixa densidade. Os fulerenos são estruturas nanométricas esféricas. O mais conhecido, o C_{60}, é constituído de sessenta átomos de carbono, os quais apresentam arranjo com estruturas pentagonais e hexagonais unidas. Entre os cientistas que contribuíram para o desenvolvimento e aplicações de nanomateriais formados por átomos de carbono, incluindo nanotubos de carbono, está a física estadunidense Mildred Dresselhaus (1930-2017).



MICHELINE PELLETIER/GAMMA-RAPHO/GETTY IMAGES

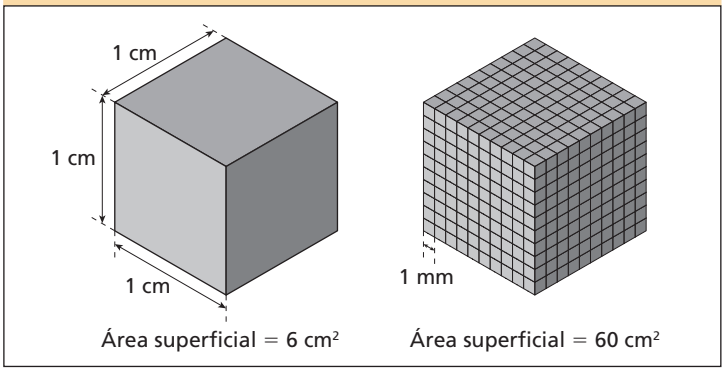
A pesquisadora Mildred Dresselhaus, em 2006, no laboratório do Instituto Tecnológico de Massachusetts (sigla em inglês, MIT), nos Estados Unidos.

Os nanotubos de carbono são considerados materiais estratégicos para aplicações tecnológicas em razão de suas propriedades elétricas, podendo ser empregados como semicondutores ou até mesmo supercondutores. Além disso, eles vêm sendo utilizados como emissores de elétrons em televisores e sensores de gases. Já o grafeno é um possível sucessor do silício em dispositivos eletrônicos. Em comparação com o silício, o grafeno apresenta maior mobilidade eletrônica, além de ser fino e flexível, características que podem revolucionar a produção de aparelhos eletrônicos.

Como as ligações entre átomos de carbono presentes em grafenos são muito estáveis, os nanotubos de carbono são estruturas com altíssima resistência mecânica, flexibilidade e resistência à ruptura quando dobrados ou torcidos. Essas ligações também são fundamentais para a resistência química dos nanotubos de carbono.

Outra característica determinante para a propriedade do nanomaterial é a sua **área superficial**, que é proporcionalmente maior que a dos materiais em escala macroscópica. Com a diminuição do tamanho da partícula, verifica-se um aumento da área superficial por volume, como observamos no cubo com aresta de 1 cm da imagem a seguir. Nela, a área superficial do cubo é de 6 cm^2 e o volume corresponde a 1 cm^3. Considerando que o volume se mantém constante, ao reduzir as arestas para 1 mm (0,1 cm), passam a existir 1.000 cubos cuja área superficial totaliza 60 cm^2 (1.000 · 0,06 cm^2). Supondo que esse cubo passe a ter arestas de 1 nm, totalizando $1 \cdot 10^{21}$ cubos, a área superficial será de 60.000.000 cm^2.

Área superficial de nanomateriais



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em MARTINS M. A.; TRINDADE, T. Os nanomateriais e a descoberta de novos mundos na bancada do químico. **Química Nova**, São Paulo, v. 35, n. 7, p. 1434-1446, 2012.

Esquema representando o incremento de área quando o cubo é fracionado em cubos menores. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

A relação da área superficial por volume é determinante para influenciar diversas propriedades dos nanomateriais, incluindo as catalíticas, as ópticas, as antimicrobianas e as magnéticas, as quais serão exemplificadas posteriormente.

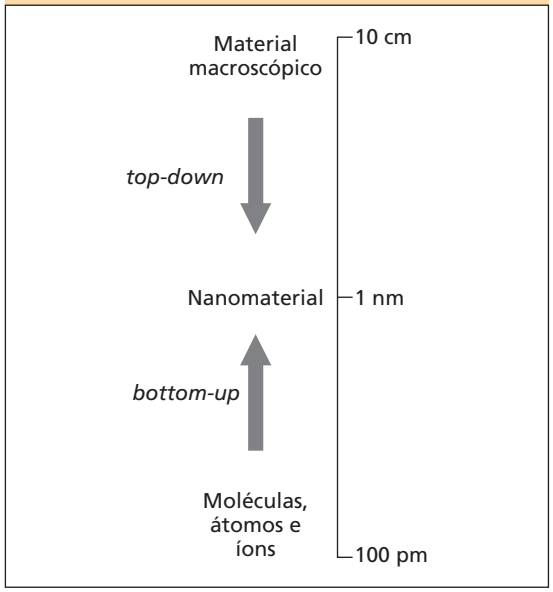
Processos para obtenção de nanomateriais

Explique aos estudantes que podem ser produzidos nanomateriais com composição, tamanho e formato diversos, por meio da escolha adequada de reagentes, solventes, catalisadores, pH, pressão e temperatura.

Existem diversas rotas de síntese de nanomateriais que podem envolver processos físicos, químicos ou biológicos capazes de formar nanoestruturas variadas. As características finais desses materiais dependem do controle de parâmetros como pH, pressão, temperatura e da escolha adequada de reagentes, solventes e catalisadores. Ao final do processo, é importante que as nanopartículas sejam estáveis a ponto de serem manipuladas e aplicadas sem perder suas características.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Estratégias de síntese de nanopartículas



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em FERREIRA, H. S.; RANGEL, M. C. Nanotecnologia: aspectos gerais e potencial de aplicação em catálise. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 7, p. 1860-1870, 2009.

Representação esquemática simplificada dos processos *top-down* e *bottom-up*.

A todo momento novas rotas de preparo e adaptações de sínteses já conhecidas são descritas por cientistas, mas, de modo geral, existem dois métodos para a obtenção de nanomateriais, conforme representado no esquema simplificado. Um deles consiste em construir o material a partir de átomos, moléculas ou íons; é o procedimento *bottom-up* (expressão em inglês que pode ser traduzida como "de baixo para cima"). O outro é realizado por meio do fracionamento de uma porção maior do material em nanopartículas; trata-se do procedimento *top-down* (que pode ser traduzido como "de cima para baixo").

O procedimento *top-down* pode ser aplicado por meio de uma série de etapas de corrosão química específicas para o preparo de nanopartículas a partir de uma amostra macroscópica. Já os procedimentos *bottom-up* são, em geral, mais empregados por envolverem processos menos custosos, mais rápidos e que permitem maior controle das características do produto. Entre eles, o mais utilizado envolve reações químicas em solução aquosa que levam à formação de **dispersões coloidais** de nanopartículas.

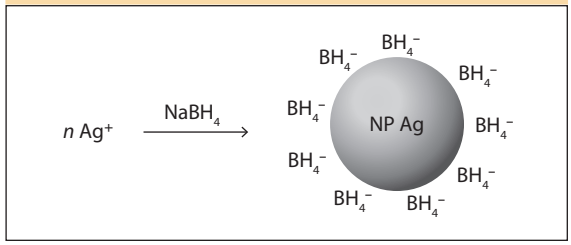
As dispersões coloidais são misturas heterogêneas de pelo menos duas fases, com a matéria de uma das fases (sólida, líquida ou gasosa) finamente dividida e misturada com outra fase (sólida, líquida ou gasosa), denominada **fase contínua**. Elas formam sistemas nos quais pelo menos um dos componentes apresenta uma dimensão no intervalo de 1 nm a 1.000 nm. Em geral, as fases de um sistema coloidal não são perceptíveis a olho nu; é possível visualizá-las apenas com o auxílio de um microscópio.

Nanopartículas metálicas de prata (NP Ag), por exemplo, podem ser obtidas por reações de oxirredução envolvendo sais de prata em meio aquoso e excesso de um agente redutor. Uma das formas comumente empregadas para a síntese de nanopartículas de prata pode ser representada, de forma simplificada, pela equação química a seguir.

$$AgNO_3(aq) + NaBH_4(aq) \rightarrow Ag(s) + \frac{1}{2} H_2(g) + \frac{1}{2} B_2H_6(g) + NaNO_3(aq)$$

Nessa reação, o boro-hidreto de sódio ($NaBH_4$) atua como agente redutor na presença de íons $Ag^+(aq)$, que são reduzidos a prata metálica (Ag) e se agregam formando nanopartículas de prata. O $NaBH_4$ é adicionado em excesso em relação ao nitrato de prata ($AgNO_3$), pois age simultaneamente como agente redutor e estabilizador das nanopartículas. Os ânions $BH_4^-(aq)$ interagem com a superfície das nanopartículas, fazendo com que elas apresentem cargas negativas. Dessa forma, a repulsão eletrostática entre as nanopartículas evita que elas se agreguem e as estabiliza em meio líquido. Caso houvesse a agregação das partículas, elas não se manteriam dispersas no meio, mas formariam um precipitado, que se acumularia no fundo do recipiente.

Síntese de nanopartículas de prata (NP Ag)



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: MELO JUNIOR, M. A. *et al*. Preparação de nanopartículas de prata e ouro: um método simples para a introdução da nanociência em laboratório de ensino. **Química Nova**, São Paulo, v. 35, n. 9, p. 1872-1878, 2012.

Representação esquemática do processo de síntese de nanopartículas de prata (NP Ag) a partir de íons Ag^+ e excesso de $NaBH_4$. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Nanopartículas metálicas de ouro (NP Au), por sua vez, podem ser obtidas a partir de reações de oxirredução e posterior formação de agregados metálicos de ouro em escala nanométrica. Um exemplo de transformação química para a obtenção de nanopartículas de ouro pode ser representado de forma simplificada pela equação química a seguir.

$$2\ HAuC\ell_4(aq) + 4\ Na_3C_6H_5O_7(aq) \rightarrow 2\ Au(s) + H_2(g) + 4\ CO_2(g) + 4\ NaC_5H_5O_5(aq) + 8\ NaC\ell(aq)$$

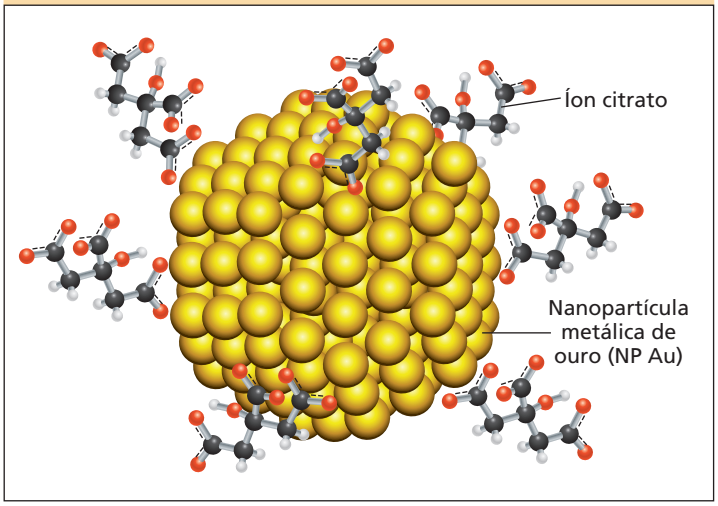
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Comente que, no caso do íon citrato, os elétrons das ligações do grupo carboxilato não estão restritos a dois átomos.

Na reação, o ácido cloroáurico ($HAuC\ell_4$) é oxidado pelo citrato de sódio ($Na_3C_6H_5O_7$), formando nanopartículas de ouro. O citrato de sódio é adicionado em excesso em relação ao ácido cloroáurico; em outras palavras, apenas uma parte do citrato de sódio adicionado reage. O restante, ou excesso, torna-se estabilizador das nanopartículas, isto é, evita que as nanopartículas se agreguem. O ânion citrato apresenta grupos carboxilato (—COO^-) que são **adsorvidos**, ou seja, ficam retidos na superfície das nanopartículas de ouro, o que faz com que apresentem carga negativa. Por meio da repulsão eletrostática entre as cargas, evita-se a agregação. Observe a imagem a seguir.

Após serem sintetizadas, as nanopartículas podem ser caracterizadas de acordo com o tamanho e o formato das partículas, além de propriedades de superfície. O tamanho e a área superficial, por exemplo, podem influenciar sua reatividade. Outra caracterização importante é quanto à sua toxicidade, ou seja, sua capacidade de provocar efeitos nocivos a seres vivos, visando assegurar que as partículas obtidas possam ser empregadas na aplicação de interesse sem danos ao ambiente e à saúde.

Estabilização de nanopartículas de ouro pelo íon citrato



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em PARK, J. W. Negative-Imaging of Citrate Layers on Gold Nanoparticles by Ligand-Templated Metal Deposition: Revealing Surface Heterogeneity. **Part. & Part. Syst. Charact.**, p. 1-9, 2018.

Representação esquemática simplificada de íons citrato interagindo com os átomos de ouro que estão na superfície da nanopartícula metálica de ouro. O citrato é composto de átomos de carbono, hidrogênio e oxigênio e as linhas tracejadas representam os elétrons deslocalizados do grupo carboxilato. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

1. Julgue as afirmações a seguir como verdadeiras ou falsas.

a. A cor de um material não depende do tamanho das partículas constituintes.

b. Nanopartículas de magnetita apresentam propriedades hidrofóbicas, o que permite a sua utilização na remoção de substâncias polares da água do mar, por exemplo, o etanol.

c. Partículas nanométricas devem apresentar, em pelo menos uma de suas dimensões, um tamanho entre $1 \cdot 10^{-9}$ m e $100 \cdot 10^{-9}$ m.

2. Qual é a função dos ânions BH_4^- na síntese de nanopartículas de prata?

3. (Enem) Cientistas da Austrália descobriram um meio de produzir roupas que se limpam sozinhas. A equipe de pesquisadores usou nanocristais de dióxido de titânio (TiO_2) que, sob ação da luz solar, são capazes de decompor as partículas de sujeira na superfície de um tecido. O estudo apresentou bons resultados com fibras de algodão e seda. Nesses casos, foram removidas manchas de vinho, bastante resistentes. A nanocamada protetora poderá ser útil na prevenção de infecções em hospitais, uma vez que o dióxido de titânio também mostrou ser eficaz na destruição das paredes celulares de microrganismos que provocam infecções. O termo nano vem da unidade de medida nanômetro, que é a bilionésima parte de 1 metro.

Veja. Especial Tecnologia. São Paulo: Abril, set. 2008 (adaptado).

A partir dos resultados obtidos pelos pesquisadores em relação ao uso de nanocristais de dióxido de titânio na produção de tecidos e considerando uma possível utilização dessa substância no combate às infecções hospitalares, pode-se associar que os nanocristais de dióxido de titânio 3. Alternativa **a**.

a. são pouco eficientes em ambientes fechados e escuros.

b. possuem dimensões menores que as de seus átomos formadores.

c. são pouco eficientes na remoção de partículas de sujeira de natureza orgânica.

d. destroem microrganismos causadores de infecções, por meio de osmose celular.

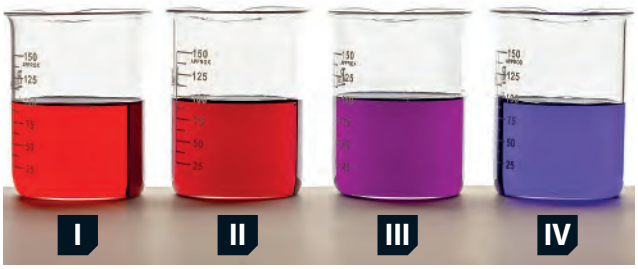
e. interagem fortemente com material orgânico devido à sua natureza apolar.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Aplicações dos nanomateriais

OBJETO DIGITAL
Infográfico clicável: Nanotecnologia na agricultura

Como comentamos anteriormente, um material que se destaca por apresentar novas propriedades na escala nanométrica é o ouro. Uma pepita de ouro é amarela, mas a cor do material pode mudar em função do seu tamanho e formato. Dispersões coloidais de nanopartículas de ouro em água, por exemplo, apresentam diferentes colorações que variam conforme o diâmetro das partículas, como podemos observar na imagem a seguir.



DOTTA2/ARQUIVO DA EDITORA

Dispersões coloidais de nanopartículas de ouro em água. Os diâmetros das nanopartículas em I, II, III e IV equivalem a 5 nm, 18 nm, 60 nm e 90 nm, respectivamente.

A mudança na cor está relacionada à interação das nanopartículas com a radiação eletromagnética, pois os processos de espalhamento e absorção da radiação são influenciados pelo tamanho das partículas. Em razão das suas cores diferenciadas, as nanopartículas de ouro foram amplamente utilizadas para a fabricação de vidros coloridos usados na decoração de castelos e igrejas durante a Idade Média.

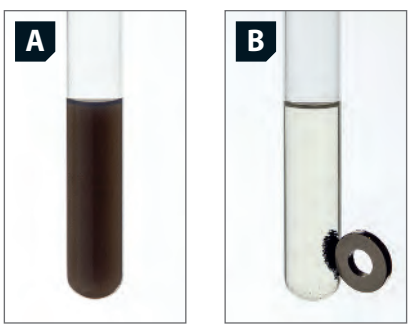
A alteração das propriedades ópticas de alguns nanomateriais, como o ouro, está relacionada a efeitos quânticos que se manifestam de maneira mais evidente na nanoescala.

Nanopartículas magnéticas e hidrofóbicas

Se julgar conveniente, comente que o Fe_3O_4 é um óxido misto em que o ferro aparece em dois estados de oxidação (II e III).

A produção de nanomateriais tem possibilitado alternativas que podem minimizar impactos produzidos por acidentes ambientais, como o derramamento de petróleo no mar. As nanopartículas de magnetita (NP Fe_3O_4), além de serem atraídas pelo campo magnético de um ímã, podem se agregar às moléculas hidrofóbicas – que apresentam baixa afinidade com substâncias polares, como a água. Assim, as NP Fe_3O_4 podem ser lançadas em locais onde há derramamento e aderir às substâncias hidrofóbicas presentes no petróleo. Após algum tempo, as nanopartículas podem ser removidas do corpo de água por ação de um ímã, trazendo com elas o petróleo. No entanto, para que a remoção do petróleo seja bem-sucedida, as nanopartículas devem manter a estabilidade em meio líquido, ou seja, não devem se agregar formando partículas maiores. Isso poderia acarretar a precipitação dessas partículas, levando-as para o fundo do corpo de água e impossibilitando a sua utilização.

Os nanomateriais têm sido utilizados para atribuir características hidrofóbicas às superfícies, isto é, torná-las impermeáveis à água, como podemos observar na imagem a seguir. Um exemplo é o uso de nanopartículas de sílica (NP SiO_2) funcionalizadas com moléculas hidrofóbicas. A funcionalização corresponde a um processo químico ou físico em que espécies químicas se ligam à superfície da nanopartícula com o objetivo de alterar algumas das propriedades desse material. A incorporação de nanopartículas de sílica funcionalizadas com moléculas hidrofóbicas em superfícies, como os tecidos, forma um revestimento que dificulta a absorção da água e de soluções aquosas que podem formar manchas.



FOTOS: DOTTA2/ARQUIVO DA EDITORA

(A) O comportamento das nanopartículas magnéticas em solução aquosa na ausência de um ímã e **(B)** na presença de um ímã.

US AIR FORCE/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

Gota de água em superfície recoberta com nanopartículas hidrofóbicas.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O recobrimento de superfícies com nanomateriais pode ser chamado de **nanorrevestimento**, termo traduzido do inglês *nanocoating*. As nanopartículas de sílica funcionalizadas têm sido objeto de estudo de grupos de pesquisa que visam incorporá-las em revestimentos de peças metálicas. Eles teriam a função de proteger os materiais da corrosão, que, na maioria das vezes, é causada pela oxidação de metais na presença de água.

Registre em seu caderno

EM FOCO Entre esponjas e detergentes

ODS 14

O vazamento de petróleo no mar é um problema de países como o Brasil, que concentra grande parte da exploração de óleo em ambiente marinho e com tráfego de navios petroleiros entre os locais de exploração e os terminais marítimos. [...] Pelo menos três grupos apresentaram recentemente resultados de pesquisas que poderão se transformar em breve em produtos para descontaminar o oceano. Eles trazem duas vantagens, a de serem biorremediadores – porque são menos tóxicos ao ambiente – e mais baratos que os produtos químicos utilizados atualmente. A primeira tecnologia é de um grupo de pesquisadores da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) composto pelos professores Rochel Lago, Flávia Moura e Maria Helena Araújo. Eles desenvolveram um material capaz de absorver petróleo em acidentes na água ou em terra, denominado nanoesponja hidrofóbica, que repele a água e tem grande afinidade por compostos orgânicos, especialmente óleos.

MARK RALSTON/AFP/GETTY IMAGES

Derramamento de petróleo no golfo do México, 2010.

[...] "Apresentamos uma plataforma tecnológica que, além da nanoesponja, é composta por um produto chamado nanoamphil contendo nanopartículas de [mineral] vermiculita, núcleos de ferro e nanoestruturas de carbono. Ele atua como um desemulsificante, substância que separa o petróleo da água do mar nas plataformas de exploração. As nanopartículas misturadas no petróleo aderem às gotas de água. Quando aproximamos um ímã as nanopartículas magnéticas do nanoamphil são atraídas pelo campo do ímã provocando a união das gotas. Após poucos minutos ocorre a completa separação da água do petróleo", diz [o doutorando e integrante do grupo Aluir] Purceno.

Fonte: SILVEIRA, E.; OLIVEIRA, M. Entre esponjas e detergente. **Pesquisa Fapesp**, São Paulo, ed. 176, out. 2010. Disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/entre-esponjas-e-detergente/. Acesso em: 11 jun. 2024.

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. Analise o procedimento descrito no texto e identifique qual foi a técnica de separação que possibilitou a retirada do petróleo da água do mar.
2. Imagine que, em vez de petróleo, houvesse um vazamento de um navio carregado de etanol. Nesse caso, poderíamos utilizar as nanoesponjas hidrofóbicas para separar o etanol da água do mar? Justifique.
3. Considere um acidente em que houve o vazamento de 4 milhões de barris de petróleo e em que se deseja absorver completamente toda essa quantidade, a fim de evitar danos ambientais. Determine a massa, em toneladas, das nanopartículas magnéticas citadas no texto necessária para absorver todo o petróleo que vazou nesse acidente.

   [Dados: 1 barril equivale ao volume de 160 L; 1 grama de nanopartícula magnética absorve até 6 gramas de petróleo; densidade do petróleo = 0,85 g/mL.]
4. Pesquise vazamentos de petróleo que tenham acontecido no Brasil, quais foram as medidas adotadas pelas autoridades responsáveis para resolver o problema e os impactos ambientais imediatamente verificados após os acidentes. Expresse sua pesquisa na forma de um infográfico com linha cronológica.

O estudante deve relacionar o resultado de sua pesquisa ao ODS número 14 – Vida na água: conservar e usar de forma sustentável os oceanos, mares e os recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável.

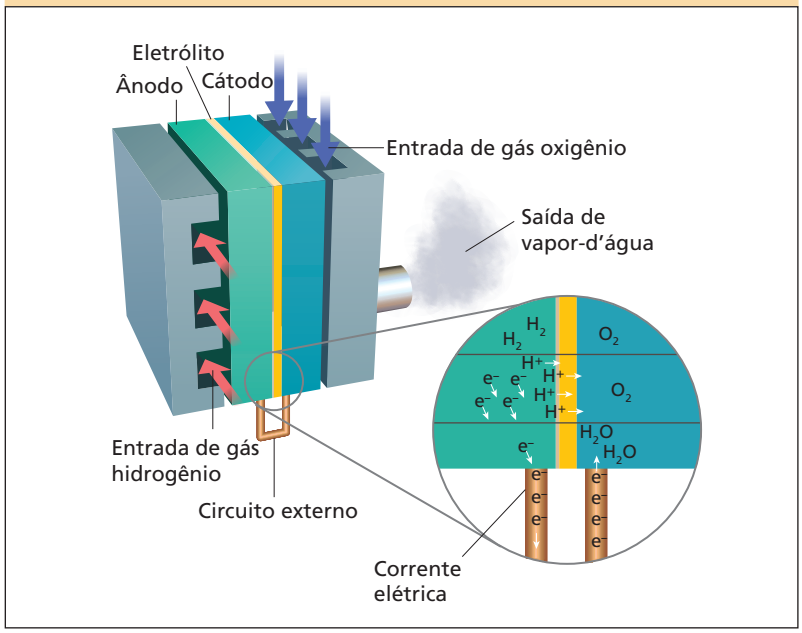
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Nanocatalisadores

A elevada área superficial por volume observada nas nanopartículas pode conferir propriedades catalíticas ao nanomaterial. Um **catalisador** é uma espécie química que participa da reação química aumentando a rapidez com a qual ela ocorre, sem que ele seja consumido no processo.

Nesse sentido, nanopartículas de platina (NP Pt) estão sendo empregadas como catalisadores em células a combustível. De forma simplificada, uma célula a combustível é um sistema eletroquímico que pode converter energia química em elétrica por meio de reações químicas que ocorrem espontaneamente no seu interior. Em geral, essas células utilizam gás hidrogênio (H_2) como fonte de energia renovável, contribuindo para a diminuição da emissão de gases poluentes, pois forma-se água como subproduto. Elas são uma alternativa mais sustentável aos motores de combustão, que empregam uma fonte de energia não renovável e liberam dióxido de carbono (CO_2), além de outros óxidos de enxofre e de nitrogênio em menor quantidade. Observe, a seguir, um esquema simplificado desses processos.

Funcionamento das células a combustível



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em VILLULLAS, H. M.; TICIANELLI, E. A.; GONZÁLEZ, E. R. Células a combustível: energia limpa a partir de fontes renováveis. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 15, p. 28-34, maio 2002; OFFICE of Energy Efficiency & Renewable Energy. Disponível em: https://www.energy.gov/eere/fuelcells/fuel-cell-animation-text-version. Acesso em: 11 jun. 2024.

Representação esquemática de uma célula a combustível. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

A seguir, são apresentadas as semirreações e a equação química global que ocorrem nas células a combustível.

Semirreação de oxidação: $H_2 \rightarrow 2\,H^+ + 2\,e^-$

Semirreação de redução: $\frac{1}{2}\,O_2 + 2\,H^+ + 2\,e^- \rightarrow H_2O$

Equação química global: $H_2 + \frac{1}{2}\,O_2 \rightarrow H_2O$

A platina é o principal metal utilizado como catalisador na oxidação do gás hidrogênio e na redução do gás oxigênio em células a combustível. Em comparação com estruturas macroscópicas, o uso de nanopartículas de platina amplia a área superficial do catalisador. Consequentemente, o número de interações entre os reagentes e o catalisador é maior, deixando o processo mais eficiente em decorrência do uso das nanopartículas.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADE COMENTADA

(Enem) A nanotecnologia pode ser caracterizada quando os compostos estão na ordem de milionésimos de milímetros, como na utilização de nanomateriais catalíticos nos processos industriais. O uso desses materiais aumenta a eficiência da produção, consome menos energia e gera menores quantidades de resíduos. O sucesso dessa aplicação tecnológica muitas vezes está relacionado ao aumento da velocidade da reação química envolvida. O êxito da aplicação dessa tecnologia é por causa da realização de reações químicas que ocorrem em condições de

a. alta pressão.

b. alta temperatura.

c. excesso de reagentes.

d. maior superfície de contato.

e. elevada energia de ativação.

Analisar o enunciado

A questão apresenta os materiais com tamanho na escala dos milionésimos de milímetro, ou seja, de tamanho extremamente pequeno, e estabelece uma relação entre as propriedades de nanomateriais catalíticos e a velocidade das reações.

Selecionar as informações relevantes

O enunciado apresenta uma relação entre o tamanho dos materiais e a velocidade ou rapidez das reações químicas.

Aplicar o conceito estudado

Analise cada item, considerando tanto a perspectiva da cinética química quanto as propriedades de materiais em escala nano com propriedades catalíticas.

a. Alta pressão: a aplicação de nanomateriais catalíticos não necessariamente envolve reações em alta pressão. Muitas vezes, ela ocorre em condições controladas.

b. Alta temperatura: o aumento da velocidade da reação pode ser alcançado com o aumento da temperatura, mas nem sempre é desejável devido aos custos de energia. Além disso, a aplicação de nanotecnologia muitas vezes visa reduzir o consumo de energia.

c. Excesso de reagentes: embora o excesso de reagentes possa acelerar algumas reações, não é uma característica específica da aplicação de nanomateriais catalíticos.

d. Maior superfície de contato: este é um conceito fundamental na nanotecnologia e na aplicação de nanomateriais catalíticos. Materiais na escala nanométrica geralmente apresentam uma área de superfície muito maior em comparação com materiais em escalas maiores, o que pode aumentar a eficiência das reações.

e. Elevada energia de ativação: a aplicação de nanomateriais catalíticos, assim como de qualquer catalisador, muitas vezes envolve a redução (e não o aumento) da energia de ativação necessária para uma reação química ocorrer, aumentando assim a velocidade da reação.

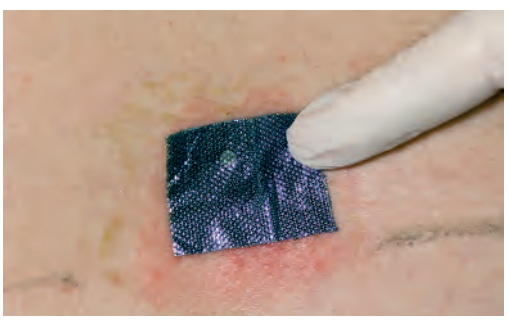
Verificar a solução

Portanto, a opção que parece mais relacionada ao sucesso da aplicação da nanotecnologia é a alternativa **d** porque, com a diminuição do tamanho do material, a sua superfície de contato aumenta, o que aumenta a rapidez das reações químicas.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Nanopartículas antimicrobianas

Os íons Ag^+ podem interagir com substâncias que apresentam enxofre ou fósforo em sua composição, como algumas proteínas e o DNA. Evidências experimentais indicam que a função antimicrobiana dos íons Ag^+ está associada à sua penetração na célula. Dessa forma, a dimensão das nanopartículas de prata é um fator essencial para aumentar a penetração de íons do metal na célula bacteriana. Essa propriedade levou à incorporação de nanopartículas de prata em alguns produtos têxteis, utensílios domésticos, produtos de higiene pessoal, embalagens e máscaras.



DR P. MARAZZI/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

Curativos com prata são comumente utilizados em hospitais e clínicas durante o tratamento de feridas infectadas e feridas crônicas, como úlceras de pressão, feridas cirúrgicas e queimaduras.

Um grupo de pesquisadores da Universidade Estadual Paulista (Unesp), da Universidade de São Paulo (USP) e da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) desenvolveu um tipo de plástico filme capaz de conservar alimentos por mais tempo por apresentar nanopartículas de prata em sua composição. Em um experimento realizado com tomates, a amostra embalada com o novo plástico teve seu prazo de validade estendido em 24 dias em comparação à amostra embalada com o plástico filme sem nanopartículas.

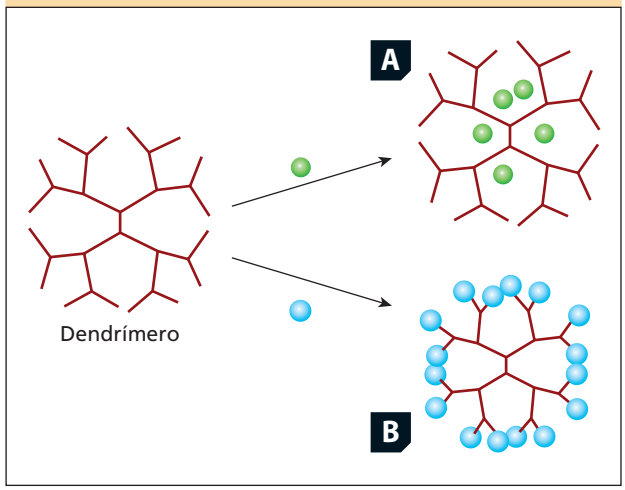
Nanomateriais na Medicina

Em virtude do tamanho diminuto das nanopartículas em comparação com as células humanas, podemos especular as vantagens da aplicação desses materiais na Medicina, tanto no tratamento de doenças quanto na Medicina Diagnóstica. Isso porque o tamanho dos nanomateriais possibilita que eles atuem até mesmo diretamente dentro das células.

Um exemplo de aplicação na Medicina são as ferritas cúbicas (MFe_2O_4, em que M é um íon metálico bivalente como Mg^{2+}, Co^{2+}, Zn^{2+} e Fe^{2+}). Nanopartículas magnéticas de ferrita podem ser aplicadas como agentes de contraste em ressonância magnética. Os agentes de contraste permitem a obtenção de imagens de alta definição dos órgãos internos.

Para o tratamento de doenças, pode-se empregar uma nanoestrutura capaz de transportar substâncias ativas pelo organismo, chamada **nanocarreador**. Além de carregar os princípios ativos, os nanocarreadores podem liberá-los de forma controlada em uma parte específica do corpo. Uma potencial estrutura nanocarreadora são os **dendrímeros** – macromoléculas sintéticas cuja forma lembra as ramificações de uma árvore. O arranjo tridimensional dessas estruturas forma cavidades que podem alocar moléculas menores. Além disso, pode ocorrer interação das estruturas de interesse com as extremidades dos dendrímeros. Observe a imagem a seguir.

Mecanismos de interação com o dendrímero



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em NIKZAMIR, M.; HANIFEHPOUR, Y.; AKBARZADEH, A.; PANAHI, Y. Applications of Dendrimers in Nanomedicine and Drug Delivery: A Review. **Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials**, v. 31, p. 1-16, 2021.

Representação esquemática de um dendrímero (estrutura ramificada). Em **(A)**, o encapsulamento de substâncias (esferas verdes) nas cavidades formadas pela estrutura tridimensional do dendrímero. Em **(B)**, espécies químicas (esferas azuis) ligadas à extremidade das ramificações do dendrímero. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

No exemplo, as substâncias encapsuladas podem ser um princípio ativo, enquanto as espécies químicas ligadas às extremidades podem ser funcionalizações que facilitam o reconhecimento da nanoestrutura por células específicas do organismo. Há expectativas de que, com o avanço das pesquisas, os nanocarreadores possam, por exemplo, interagir com células tumorais a fim de liberar o medicamento quimioterápico apenas para as células-alvo, minimizando os efeitos colaterais causados por esse medicamento. Assim, seria possível adquirir maior eficiência em tratamentos contra o câncer.

Outra abordagem para o tratamento de câncer envolve o uso de nanopartículas de ouro em formato de bastões, os *nanorods*. Essas nanoestruturas podem absorver radiação eletromagnética transformando-a em energia térmica, em um processo denominado **fototermia**. A energia térmica liberada pode eliminar as células cancerígenas que estiverem em contato com os *nanorods*, uma vez que são mais sensíveis ao aumento de temperatura que as células saudáveis.

O grafeno e os nanotubos de carbono também têm apresentado elevado potencial para o avanço da Nanomedicina, com aplicações na engenharia de tecidos, por exemplo. Além disso, grafeno e nanotubos de carbono, quando funcionalizados com moléculas bioativas, podem se comportar como nanocarreadores de agentes terapêuticos.

Outro fator que contribui para o crescimento da Nanomedicina é o avanço do desenvolvimento de nanopartículas com radiomarcação (espécies radioativas incorporadas), para aplicações de imagem e radioterapia (terapia utilizada no tratamento de tumores cancerígenos).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Fique por dentro

NanoEACH

NanoEACH. Disponível em: http://www.each.usp.br/nanoeach/. Acesso em: 11 jun. 2024.

Página de divulgação científica da Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo (USP Leste) dedicada a apresentar avanços e aplicações dos nanomateriais. Nela, você encontra artigos, material audiovisual e indicações de *sites*.

Registre em seu caderno

TRABALHO E JUVENTUDES

Empreendedorismo e o potencial criativo das juventudes

ODS 8

Muitas pessoas, ao escutarem ou lerem a palavra **empreendedorismo**, costumam fazer uma rápida associação desse termo a indivíduos que inovaram em alguma área e agora colhem sucesso nas redes sociais e muitos ganhos financeiros. Ou, no extremo oposto, vem à memória o caso de uma pessoa conhecida, às vezes da própria comunidade, que tentou ser empreendedora e agora acumula muitas perdas financeiras. Entretanto, o empreendedorismo é mais do que realizar algo apenas pelo retorno financeiro. E entre os diversos significados que podem ser encontrados para definir o empreendedorismo, um deles é a capacidade de criar algo diferente e inovador para solucionar um problema ou implementar melhorias em algo ou algum lugar, usando a criatividade e a visão estratégica, superando desafios e encontrando oportunidades.

Esse significado para o empreendedorismo está, de certa forma, bastante relacionado com as inovações e os avanços científicos e tecnológicos. As pesquisas que conduziram ao desenvolvimento de nanomateriais, realizadas com criatividade, resiliência e superação de desafios por diferentes cientistas ao longo das décadas, tiveram como consequência benefícios e melhorias em diversos campos, inclusive na saúde. Podemos dizer, então, que ciência e empreendedorismo compartilham a característica de serem motores de progresso e inovação, podendo gerar impactos positivos em determinada sociedade ou até mesmo no mundo.

Segundo o *Atlas das Juventudes* (2021), o empreendedorismo é uma das formas de promover a inclusão dos jovens no mercado de trabalho. Mas um cenário que se tornou comum no mundo pós-pandemia de covid-19 é o de pessoas, especialmente jovens periféricos, que passaram a empreender por necessidade, e não por causa de oportunidades. Além disso, muitos jovens que iniciaram um empreendimento ainda estão na informalidade. Mas é importante saber que o governo brasileiro conta com uma plataforma própria para a pessoa empreendedora se formalizar e conhecer seus deveres e benefícios: o *Portal do Empreendedor* (disponível em: https://www.gov.br/empresas-e-negocios/pt-br/empreendedor; acesso em: 23 jan. 2024).

Documentos que buscaram mapear as juventudes nos últimos anos, como o *Atlas das Juventudes* e *O futuro do mundo do trabalho para as juventudes brasileiras*, mostraram que há, por parte dos jovens, um grande potencial de empreendimento em negócios digitais e negócios voltados para ações de sustentabilidade e de impacto social. Como exemplo, uma das áreas que podem ser bastante exploradas pelos jovens é a **cultura**, por meio do chamado empreendedorismo artístico, dentro da economia criativa. Jovens empreendedores no campo artístico podem atuar, por exemplo, em projetos que valorizem a cultura do local onde residem, chamando a atenção do poder público e de investidores para o potencial econômico e turístico da região. Dessa forma, contribuem não apenas para a diversidade cultural, mas também para a criação de oportunidades concretas de geração de renda, emprego e crescimento econômico local, estabelecendo um ciclo de valorização cultural e desenvolvimento socioeconômico.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Continua

LECO VIANA/THENEWS2/ZUMA PRESS/ALAMY/FOTOARENA

Jovens estudantes da rede estadual de ensino baiano participando da Expo Favela Innovation Bahia, em setembro de 2023, no município de Lauro de Freitas. Esse evento, que ocorreu também em outras cidades brasileiras, é considerado a maior feira de negócios e empreendedorismo periférico.

Considerando as singularidades dos jovens e suas realidades, o poder público e os investidores privados podem participar do incentivo ao empreendedorismo promovendo meios para que os jovens desenvolvam habilidades empreendedoras, como a resiliência e a comunicação. É importante que jovens empreendedores tenham também acesso ao financiamento para o desenvolvimento dos projetos, além de capacitação técnica e assessoria nos negócios.

O empreendedorismo juvenil não deve ser visto apenas como um caminho para criar o próprio negócio e ter uma renda. Jovens que decidem ser empreendedores podem encontrar uma grande oportunidade para desenvolver diferentes habilidades, exercitar a criatividade e serem protagonistas de uma transformação social.

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. Segundo o texto, por que a atividade empreendedora não está relacionada apenas a ganhos financeiros?
2. De que forma o poder público e a iniciativa privada podem apoiar e promover o empreendedorismo juvenil? Além das formas indicadas no texto, procure pesquisar em fontes confiáveis outras maneiras de apoio aos jovens empreendedores.
3. Você acredita que uma pessoa jovem que decida empreender possa ser fonte de inspiração para outras pessoas da comunidade? De que forma?
4. Elabore um plano simples para o desenvolvimento de uma ideia empreendedora na sua comunidade. Em primeiro lugar, pense sobre o seu dia a dia na localidade em que você mora. Procure identificar uma ou algumas necessidades que existem na sua comunidade e liste-as no seu caderno. Esboce algumas ideias que você considere relevantes e viáveis para resolver essas necessidades locais. Procure continuar o desenvolvimento de sua ideia escrevendo de que forma ela poderia ser transformada em um projeto empreendedor, considerando por exemplo: de que materiais iniciais você vai precisar? Onde seu empreendimento será realizado? De quais auxílios (técnicos, financeiros) você irá precisar? Quais conhecimentos extras você precisará ter? De que forma você poderia colocar em prática essa ideia: buscando auxílio público ou privado? Compartilhe suas ideias com os demais colegas e anote possíveis sugestões de melhorias fornecidas por eles.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADES DE FECHAMENTO

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. "Agora, com a nanotecnologia, os átomos são a peça central", disse o professor Garner. "Os átomos são manipulados diretamente para produzir novos medicamentos, semicondutores e plásticos.

"Dalton foi o primeiro nanotecnologista. Ele nos deu a primeira compreensão da natureza dos materiais. Agora podemos projetar moléculas com uma boa ideia sobre suas propriedades."

Fonte: KRUG, K. Science celebrates "father of nanotech". **BBC News**, 10 out. 2003. Disponível em: http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/3178890.stm. Acesso em: 19 ago. 2024. (Tradução dos autores.)

Com base no que é discutido no texto, estabeleça uma relação a importância da pesquisa de base para a desenvolvimento da ciência e tecnologia.

2. (Fatec-SP) "Para se ter uma noção do universo nanométrico, no qual a dimensão da física é representada pelo prefixo nano, 1 nm equivale aproximadamente ao comprimento de dez átomos enfileirados. Um nanotubo de carbono tem um diâmetro da ordem de 10 nm. A dimensão de uma molécula de DNA situa-se na escala de 100 nm e é pouco menor que a de um vírus. As hemácias, que são as células vermelhas do sangue, são da ordem de 10 micrômetros (10 μm) ou 10.000 nm. O diâmetro de um fio de cabelo pode medir cerca de 100.000 nm."

(TOMA, H. E. **O mundo nanométrico**: a dimensão do novo século. São Paulo: Oficina de Textos, 2004. p. 13 adaptado.)

De acordo com o texto e com as medidas aproximadas, é correto afirmar que 2. Alternativa **e**.

a. um nanotubo de carbono é cem mil vezes mais fino do que um fio de cabelo.

b. são necessários cem mil átomos enfileirados para compor o diâmetro de um fio de cabelo.

c. na escala mencionada no texto, um micrômetro (1 μm) equivale a 100 nanômetros (100 nm).

d. as hemácias são, aproximadamente, 10 vezes maiores do que os vírus.

e. o diâmetro de um fio de cabelo tem aproximadamente 100 μm.

3. (Enem) Na manipulação em escala nanométrica, os átomos revelam características peculiares, podendo apresentar tolerância à temperatura, reatividade química, condutividade elétrica, ou mesmo exibir força de intensidade extraordinária. Essas características explicam o interesse industrial pelos nanomateriais que estão sendo muito pesquisados em diversas áreas, desde o desenvolvimento de cosméticos, tintas e tecidos, até o de terapias contra o câncer.

LACAVA, Z. G. M.; MORAIS, P. C. Nanobiotecnologia e Saúde. Disponível em: http://www.comciencia.br/dossies-1-72/reportagens/nanotecnologia/nano15.htm (adaptado).

A utilização de nanopartículas na indústria e na medicina requer estudos mais detalhados, pois 3. Alternativa **d**.

a. as partículas, quanto menores, mais potentes e radiativas se tornam.

b. as partículas podem ser manipuladas, mas não caracterizadas com a atual tecnologia.

c. as propriedades biológicas das partículas somente podem ser testadas em microrganismos.

d. as partículas podem atravessar poros e canais celulares, o que poderia causar impactos desconhecidos aos seres vivos e, até mesmo, aos ecossistemas.

e. o organismo humano apresenta imunidade contra partículas tão pequenas, já que apresentam a mesma dimensão das bactérias (um bilionésimo de metro).

4. As nanopartículas de prata podem ser preparadas a partir de um sal, como o nitrato de prata ($AgNO_3$), e um agente redutor que também dificulta a agregação das partículas (em função da carga superficial negativa conferida pelo excesso de agente redutor adicionado ao meio reacional). Após realizar a síntese de nanopartículas por meio desse método, cientistas decidiram analisar o efeito da adição de sais como o cloreto de sódio ($NaC\ell$) e o nitrato de prata ($AgNO_3$) na dispersão coloidal. Com a adição gradativa e lenta de solução diluída de nitrato de prata, observou-se que a coloração do sistema mudou, como mostra a imagem a seguir.

DOTTA2/ARQUIVO DA EDITORA

Dispersões coloidais de nanopartículas de prata de diferentes tamanhos.

Com base nas informações apresentadas e nos seus conhecimentos sobre o assunto, explique por que a adição de nitrato de prata levou à mudança de cor da solução.

5. Considerando que nanopartículas de platina foram preparadas utilizando os seguintes compostos: tetracloroplatinato(II) de potássio ($K_2PtC\ell_4$) e boro-hidreto de sódio ($NaBH_4$), responda às questões a seguir.

a. Que procedimento de síntese de nanopartículas é realizado a partir dos reagentes citados? Justifique sua escolha.

b. Explique por que cada um desses compostos foi escolhido para a síntese dessas nanopartículas.

Continua

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

6. Leia a história em quadrinhos a seguir.

Fonte: TOMA, H. E. **O mundo nanométrico**: a dimensão do novo século. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

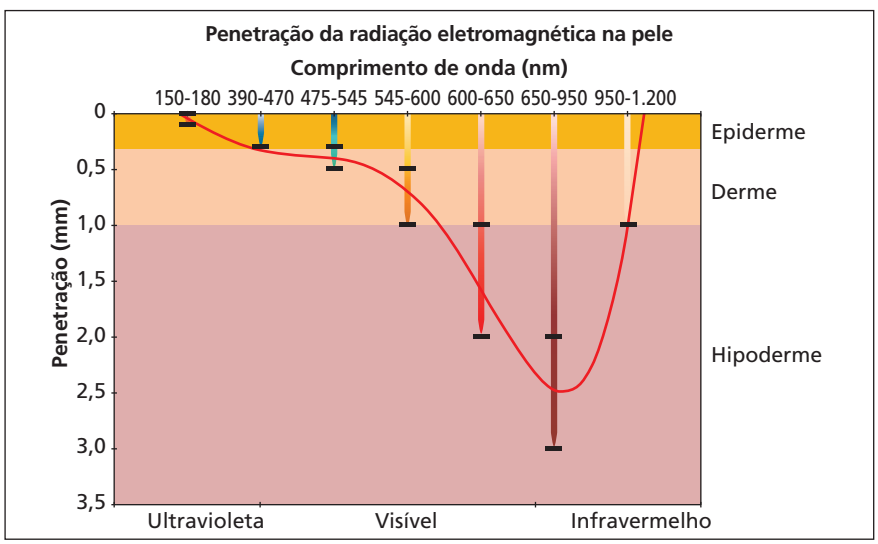
Com base nos quadrinhos e em seus conhecimentos sobre o assunto, responda às questões:

a. O que é funcionalização e com qual objetivo ela é empregada na síntese de nanomateriais? Faça uma breve pesquisa em fontes confiáveis sobre o processo.

b. O que seriam os "grupos disfuncionais" mencionados no último quadrinho?

7. O gráfico a seguir apresenta dados sobre a profundidade que determinados tipos de radiação eletromagnética podem alcançar quando incidem sobre a pele.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA



Representação gráfica da penetração da radiação eletromagnética na pele em função do comprimento de onda.

Fonte: elaborado com base em AVCI, P. *et al*. Low-level laser (light) therapy (LLLT) in skin: stimulating, healing, restoring. **Seminars in Cutaneous Medicine and Surgery**, v. 32, n. 1, p. 41-52, 2013.

Analise o gráfico e responda:

a. Entre os tipos de radiação apresentados, que faixa de comprimento de onda tem maior penetração na pele?

b. Sabendo que o comprimento de onda corresponde a um parâmetro que caracteriza a radiação eletromagnética, que informações apresentadas no gráfico poderiam contribuir para orientar os passos necessários para elaborar um nanocarreador cuja liberação do medicamento fosse ativada por radiação eletromagnética?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Capítulo 22

Proteções contra corrosão e processos eletrolíticos

ALEXEYPETROV/ISTOCK/GETTY IMAGES

Os aviões são fabricados com diferentes materiais, entre eles ligas metálicas que podem ser afetadas por processos corrosivos, demandando monitoramento e reparos constantes a fim de manter a segurança da aeronave.

Alberto Santos Dumont (1873-1932) foi o pioneiro no desenvolvimento da aviação, realizando o primeiro voo controlado a bordo do avião 14-bis em 23 de novembro de 1906. Atualmente, os aviões transportam pessoas e mercadorias e estão entre os transportes mais seguros do mundo. Para isso, diversos sensores e programas de computador auxiliam os pilotos durante o voo, além das manutenções periódicas, fundamentais para garantir o funcionamento da aeronave. Recentemente, está em desenvolvimento a utilização de inteligência artificial (IA) capaz de analisar os grandes volumes de dados coletados de sensores instalados nos aviões para identificar padrões e anomalias, como corrosão ou outros danos. Isso permitiria às equipes de manutenção receber alertas antecipados e programar reparos antes que os problemas se agravassem.

Neste capítulo, serão abordados os fenômenos da corrosão de metais e dos procedimentos tecnológicos para evitá-la. Posteriormente, serão descritos os fenômenos eletroquímicos de eletrólise ígnea e aquosa e sua relação com os processos para evitar a corrosão metálica.

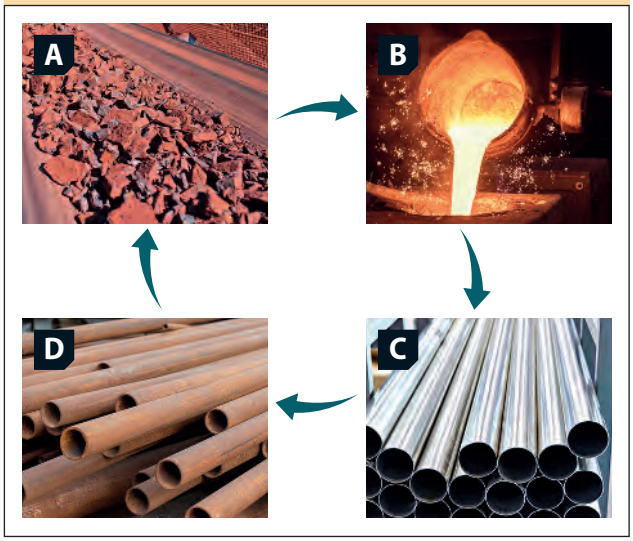
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Corrosão dos metais

A corrosão dos metais pode ocorrer por meio de reações de transferência de elétrons entre espécies químicas, as chamadas reações de oxirredução. No cotidiano, é possível perceber a formação espontânea da ferrugem em objetos com ferro metálico em sua composição; no entanto, a obtenção do ferro metálico a partir da ferrugem não é notada. Por que não se observa o processo inverso ocorrendo naturalmente?

Diferentemente da corrosão, os processos metalúrgicos não são espontâneos, pois as substâncias compostas contendo o elemento químico metálico encontradas nos minérios são mais estáveis que as substâncias simples metálicas. Note que metalurgia e corrosão são processos estreitamente relacionados. Ambos fazem parte do chamado **ciclo dos metais**.

Ciclo dos metais



A) A.PAES/SHUTTERSTOCK; B) MONTY RAKUSEN/CULTURA RF/GETTY IMAGES; C) SERGEYRYZHOV/ISTOCKPHOTO/GETTY IMAGES; D) SERGEI TELENKOV/ISTOCK/GETTY IMAGES

O minério é extraído das jazidas **(A)** e processado nas usinas metalúrgicas **(B)** para obter substâncias simples metálicas **(C)** das substâncias compostas nele presentes, em um processo que depende do gasto de energia. Com o passar do tempo, dependendo das condições do meio, os objetos metálicos passam por corrosão **(D)**. Assim, as substâncias simples metálicas são transformadas em substâncias compostas similares às encontradas nos minérios, em um processo que libera energia, fechando o ciclo.

Estudo da formação da ferrugem

A formação da ferrugem é uma transformação química, pois os produtos formados nesse processo apresentam propriedades diferentes dos reagentes. A resistência mecânica é uma das propriedades que se altera, uma vez que o material enferrujado é menos resistente do que o material não enferrujado. A ferrugem torna os materiais mais frágeis ao longo do tempo, comprometendo, assim, a integridade física das estruturas metálicas. A corrosão do ferro é um processo eletroquímico complexo que envolve a presença de água (H_2O) e gás oxigênio (O_2). Uma forma eficiente de compreender esse processo é discutir uma adaptação da experiência da gota salina publicada em 1926 pelo químico inglês Ulick Richardson Evans (1889-1980). Nessa adaptação, simula-se a corrosão em uma tampa metálica de garrafa.

Os princípios básicos da oxirredução são estudados no capítulo 6. Já pilhas e baterias são estudadas no capítulo 7.

Considere que, inicialmente, removemos com uma lixa a tinta da parte superior de uma tampa metálica de garrafa. Sobre a tampa, colocamos uma gota de solução aquosa do sal cloreto de sódio, NaCℓ, em concentração similar à que o material estaria exposto em um ambiente com maresia, além dos indicadores hexacianidoferrato(III) de potássio, $K_3[Fe(CN)_6]$, e fenolftaleína, $C_{20}H_{14}O_4$. Três instantes desse experimento são apresentados a seguir.

FOTOS: DOTTA2/ARQUIVO DA EDITORA

Gota salina sobre uma tampa metálica. **(A)** Aspecto do meio reacional logo após o gotejamento da solução contendo cloreto de sódio e os indicadores hexacianidoferrato(III) de potássio e fenolftaleína. **(B)** Aspecto do meio reacional alguns minutos após o gotejamento da solução. **(C)** Formação de ferrugem na parte exposta da tampa metálica aproximadamente 24h após o contato com o meio corrosivo (gota salina).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O uso de **indicadores** tem como objetivo evidenciar a ocorrência de transformações químicas que não são perceptíveis a olho nu. A solução alcoólica de fenolftaleína em pH > 8, ou seja, quando há um aumento na concentração de íons hidróxido (OH^-) no meio reacional, muda de incolor para rósea; ao passo que a solução aquosa de hexacianidoferrato(III) de potássio muda de amarela para azulada, cor característica do composto conhecido como azul da Prússia ($Fe_4[Fe(CN)_6]_3$), que se forma em decorrência da presença dos íons ferro(II) e ferro(III). Desde o início da experiência **(A)**, é possível perceber uma segregação entre o local em que predominantemente ocorre a formação de íons OH^- e a região em que se formam predominantemente íons de ferro **(B)**. Após algumas horas, é possível perceber a formação de um sólido de coloração marrom **(C)**.

Com base nos resultados experimentais, podemos inferir que o processo de corrosão do ferro envolve a transferência de elétrons dos átomos de ferro para o gás oxigênio dissolvido em água, levando à formação de íons Fe^{2+}. Em processos como esse, os elétrons se deslocam do **ânodo** (polo negativo), região em que ocorre a oxidação – perda de elétrons – de uma espécie química, para o **cátodo** (polo positivo), região em que há redução – ganho de elétrons – de uma espécie química.

A formação dos íons $Fe^{2+}(aq)$ pode ser descrita pela **semirreação de oxidação** do ferro metálico:

$$Fe(s) \rightleftarrows Fe^{2+}(aq) + 2\ e^- \qquad E^\circ_{oxi} = +0{,}44\ V$$

A coloração rósea surge e é intensificada com o aumento da quantidade de ânions $OH^-(aq)$ na solução, produto da **semirreação de redução** do gás oxigênio na presença de água:

$$O_2(g) + 2\ H_2O(\ell) + 4\ e^- \rightleftarrows 4\ OH^-(aq) \qquad E^\circ_{red} = +0{,}40\ V$$

Assim, o ferro metálico é oxidado pelo gás oxigênio ao mesmo tempo que o gás oxigênio é reduzido pelo ferro metálico, desde que a superfície do metal esteja em contato com a água, pois, além de participar da reação, ela fornece um meio para que ocorra o fluxo dos íons entre as regiões anódica e catódica. Em uma reação de oxirredução, a espécie química que reduz é o agente oxidante, enquanto a espécie química que oxida é o agente redutor. Nesse exemplo, $O_2(g)$ é o agente oxidante, e Fe(s) é o agente redutor.

Note que ao somarmos os potenciais-padrão de oxidação do ferro e redução do gás oxigênio obtemos um valor positivo, o que está associado a um processo eletroquímico espontâneo.

$$ddp = E^\circ_{oxi} + E^\circ_{red}$$
$$ddp = +\ 0{,}44\ V + (+\ 0{,}40\ V)$$
$$ddp = +\ 0{,}84\ V$$

Os íons $Fe^{2+}(aq)$ reagem com os íons $OH^-(aq)$ e precipitam na forma de hidróxido de ferro(II), $Fe(OH)_2$, um composto insolúvel. Posteriormente, o $Fe^{2+}(aq)$ é oxidado transformando-se em $Fe^{3+}(aq)$ e se forma o hidróxido de ferro(III), $Fe(OH)_3$. Esse hidróxido é desidratado parcialmente, formando óxido de ferro(III) com uma quantidade variável de moléculas de água associada à sua estrutura ($Fe_2O_3 \cdot x\ H_2O$). Esse **hidrato** é um dos componentes da ferrugem.

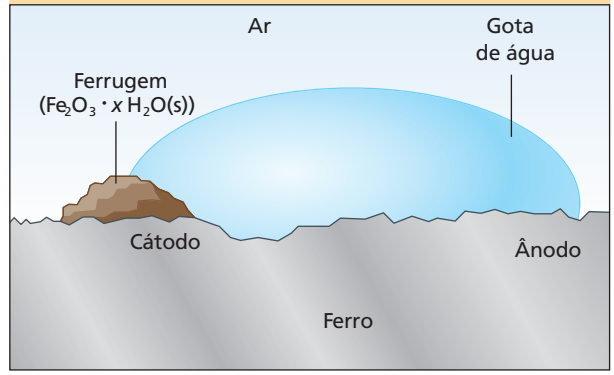
Comente que a quantidade variável de água de hidratação do óxido de ferro(III) que se forma no processo de enferrujamento foi representada pela incógnita *x*.

A figura a seguir apresenta um esquema simplificado da formação da ferrugem a partir da corrosão do ferro metálico. A equação química global é uma forma, embora limitada, de representar o processo:

$$4\ Fe(s) + 3\ O_2(g) + 2x\ H_2O(\ell) \rightarrow 2\ Fe_2O_3 \cdot x\ H_2O(s)$$

A corrosão é favorecida pela presença de íons dissolvidos,

Processo de corrosão do ferro



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em ATKINS, P.; JONES, L. **Princípios de Química**: questionando a vida moderna e o meio ambiente. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

Representação esquemática simplificada da formação da ferrugem. Uma região da superfície do metal atua como cátodo e outra, como ânodo. Como o metal é condutor, os elétrons podem se mover de uma região para a outra. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Sinalize que os processos de oxidação e de redução são simultâneos e reversíveis. Reforce os balanços de quantidade de substância e de carga das semirreações.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

o que é geralmente evidente em materiais metálicos em áreas litorâneas e em locais onde se utiliza sal grosso para degelar estradas durante o inverno. Além de aumentar a condutividade elétrica do meio, os íons em solução diminuem a eficiência de formação da camada de passivação. Esse tipo de estrutura consiste em uma película de óxido, hidreto ou sal do íon metálico que se forma sobre a superfície do metal, impedindo o contato dele com o meio corrosivo. Como as transformações químicas dependem da interação entre os reagentes, situações que dificultem o contato entre os materiais metálicos e os agentes oxidantes, presentes no meio corrosivo, tendem a diminuir a rapidez da reação de oxirredução.

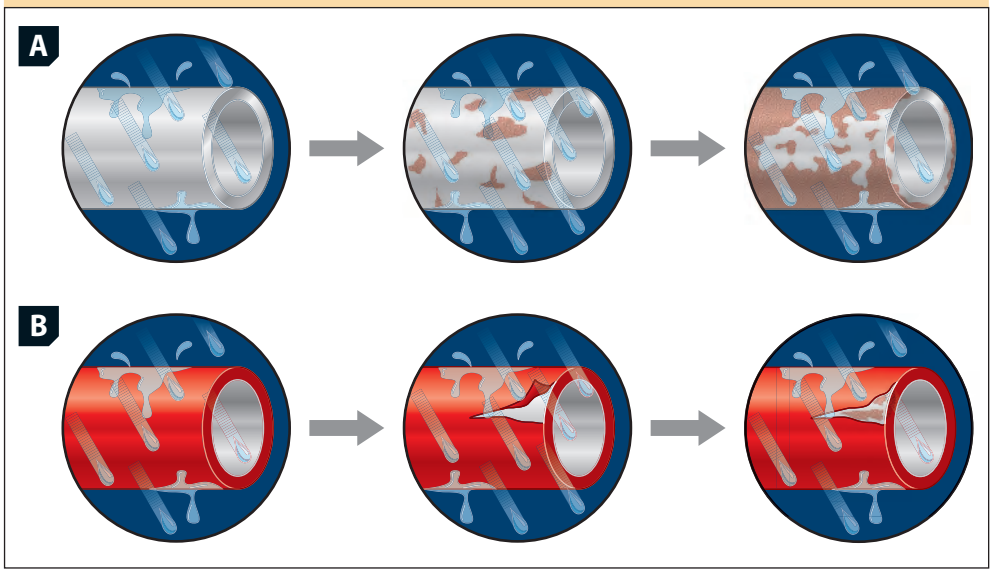
Proteção contra corrosão

Evitar a corrosão é um desafio permanente, e muitas pesquisas são realizadas em universidades, institutos de pesquisa e indústrias em busca de novas e melhores técnicas anticorrosão. Um exemplo é o trabalho publicado em 2019 por pesquisadores de uma faculdade paulista que avalia o potencial do uso de extratos de erva-mate (*Ilex paraguariensis*) e de folhas utilizadas para preparar chá verde (*Camelia sinensis*) como inibidores da corrosão do aço em meio ácido.

Os **inibidores** de corrosão são compostos orgânicos ou inorgânicos, como aminas e fosfatos, adicionados ao meio corrosivo que, por diversos mecanismos, reduzem ou impedem as reações de oxirredução. Há inibidores de corrosão, por exemplo, que agem dificultando o contato entre os reagentes. Alguns por reagirem com o gás oxigênio, outros por formarem uma película sobre a superfície metálica.

Por exemplo, na formação da ferrugem, há três reagentes principais: água, gás oxigênio e ferro metálico. A água, no estado líquido e na forma de vapor, e o gás oxigênio estão presentes no ar. Assim, ao impedir o contato do ar úmido com o ferro, a ferrugem tende a não ser formada. Para evitar esse contato, pode-se fazer o **recobrimento** das estruturas e dos equipamentos que contêm ferro metálico em sua composição com um material impermeável, para impedir a absorção de água, e inerte, ou seja, que não reage com as substâncias envolvidas. Esse material costuma ser uma tinta. Entretanto, em qualquer tinta ocorre o desgaste físico-químico da película pela ação de chuvas, calor, ventos, choques mecânicos etc. Assim, é necessário fazer a manutenção da pintura, pois, uma vez exposto ao ar, o metal fica novamente vulnerável à corrosão. Perceba na figura a seguir que, para a ocorrência da formação de ferrugem no experimento da gota salina, foi necessário remover a tinta da tampa.

Proteção por barreira em tubos de ferro



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

(A) Representação esquemática da formação da ferrugem em uma estrutura de ferro sem proteção externa. **(B)** Representação esquemática de uma estrutura de ferro recoberta por uma camada de tinta, que, desgastada, não impede a corrosão. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Proteção anódica

Algumas tintas têm pigmentos que reagem formando uma camada de material insolúvel em água sobre a superfície do metal quando os agentes corrosivos atravessam a película formada pela tinta. O zarcão, muito utilizado para proteger tubulações industriais, grades e portões, é um exemplo. Essa tinta consiste em uma suspensão oleosa do óxido Pb_3O_4, um pigmento anticorrosivo. No entanto, devido aos riscos de contaminação do ambiente e intoxicação de plantas e animais decorrentes do uso de um composto contendo chumbo, a produção e o uso desse tipo de revestimento estão sendo restringidos ou mesmo proibidos no Brasil e no mundo. Como opção tem-se o fosfato de zinco, $Zn_3(PO_4)_2$, entre outros.

FERNANDO FAVORETTO/CRIAR IMAGEM

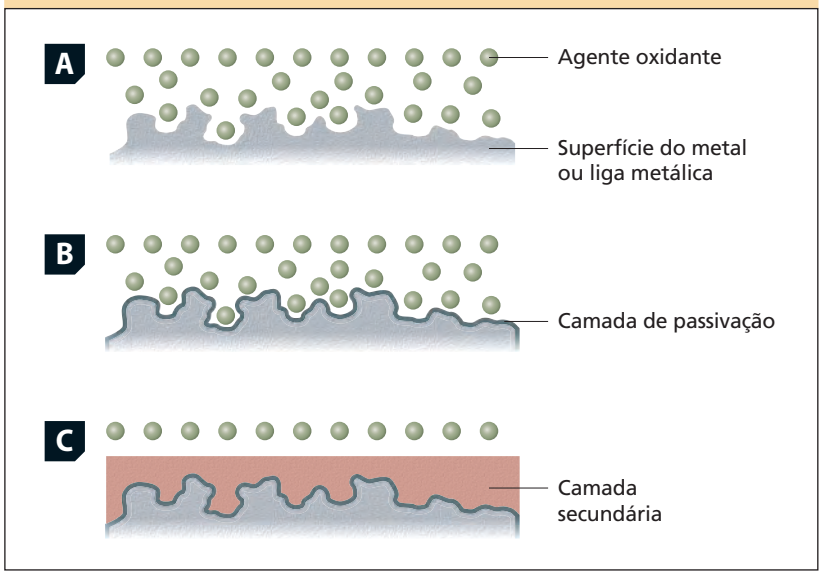
Se julgar conveniente, comente que o Pb_3O_4 é um óxido misto em que o chumbo aparece em dois estados de oxidação (II e IV).

Tinta zarcão sendo aplicada a um portão de ferro. Como esse revestimento contém chumbo (Pb) em sua composição, sua aplicação deve ser cuidadosa para evitar riscos à saúde e ao ambiente.

Como vimos, a formação de uma camada fina, compacta e aderente de material que acaba isolando o metal do ambiente e dificultando o progresso da corrosão é conhecida como **passivação**. Essa é uma forma de **proteção anódica**.

Alguns metais, como o alumínio, formam uma camada de passivação espontaneamente quando em contato com o ar. No entanto, esse fenômeno pode ser empregado industrialmente para produzir peças metálicas quimicamente mais resistentes, pela oxidação prévia controlada da peça. O ferro, por exemplo, pode ser passivado ao ser colocado em contato com ácido nítrico concentrado $HNO_3(aq)$, que é um forte agente oxidante. Um resultado ainda melhor pode ser obtido se uma segunda camada protetora for formada pela aplicação de uma tinta com pigmentos anticorrosivos. A imagem a seguir apresenta, simplificadamente, o processo de passivação de um metal ou liga metálica.

Passivação de um metal ou liga metálica



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática simplificada do processo de passivação de um metal ou liga metálica. **(A)** Metal exposto ao agente oxidante. **(B)** Formação da camada de passivação na superfície do material metálico. **(C)** Preenchimento de irregularidades da superfície com uma segunda camada protetora. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Comente que a passivação do ferro não ocorre se o ácido nítrico estiver diluído. Nesse caso, o material tende a ser completamente corroído. Comente também que é devido à passivação que a liga de ferro, carbono e crômio é chamada de aço inoxidável. Outro exemplo de passivação ocorre com o alumínio devido à formação de uma camada de óxido de alumínio (Al_2O_3) na superfície de peças desse metal.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Registre em seu caderno

EM FOCO Laboratórios da USP estudam revestimentos inteligentes com poder de autorreparação

ODS 9

ODS 11

A corrosão é um fenômeno de deterioração de materiais metálicos que acontece de forma espontânea, por meio de reações químicas e eletrônicas com o meio ambiente. Estima-se que 30% da produção mundial de ferro e aço é perdida com a corrosão. No Brasil, o gasto de manutenção contra este fenômeno foi equivalente a 4% do Produto Interno Bruto (PIB) no ano de 2019, o que corresponde a R$ 290 bilhões. [...]

Inspirada na área médica, uma nova tecnologia de revestimentos inteligentes com propriedades de autorreparação é estudada na USP para mitigar a corrosão em superfícies metálicas. A tecnologia utiliza microcápsulas com um agente reparador que age na área danificada localmente, de forma autônoma, impedindo o avanço da corrosão do substrato metálico pintado. Esses revestimentos inteligentes são estudados pela professora e pesquisadora Idalina Vieira Aoki, do Departamento de Engenharia Química da Escola Politécnica (Poli) da USP. É a pesquisadora que afirma que o encapsulamento de inibidores de corrosão foi inspirado na área médica, mais precisamente nos "fármacos que podem provocar reações ou efeitos colaterais indesejados, que são encapsulados e funcionalizados para irem direto ao órgão doente".

Para que o processo de autorreparação seja possível, as microcápsulas são, geralmente, esferas de paredes poliméricas com um agente de reparação encapsulado presentes na primeira camada de pintura do substrato metálico, o chamado *primer*. Quando a superfície metálica sofre um dano mecânico, como riscos ou impactos, as microcápsulas são rompidas e liberam o agente de reparo no local danificado, cobrindo o metal exposto com a formação de um filme polimérico, diminuindo ou cessando o processo corrosivo.

O uso desse tipo de revestimento com propriedades de autocura traz vantagens de ordem prática e econômica, diminuindo a frequência de manutenção das estruturas pintadas e economizando esforços, tempo e recursos. Idalina comenta que "esses aditivos não são caros, o que torna seu emprego bastante atrativo".

[...]

O emprego das microcápsulas com inibidores de corrosão e propriedades de autorreparação na construção civil é estudado como aditivo do concreto para diminuir o número de microfissuras, que podem permitir a entrada de agentes agressivos que causam a corrosão das armaduras de aço presentes no concreto armado.

Desenvolvidos basicamente para estruturas metálicas, esses revestimentos inteligentes não possuem o poder de reparar rachaduras em paredes de alvenaria, pois segundo Idalina, não há material suficiente nas microcápsulas para preencher vazios tão grandes.

Fonte: NAZARÉ, E. Laboratórios da USP estudam revestimentos inteligentes com poder de autorreparação. **Jornal da USP**, São Paulo, 18 nov. 2022. Disponível em: https://jornal.usp.br/?p=561809. Acesso em: 30 ago. 2024.

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. Quais são as principais vantagens econômicas e práticas do uso de revestimentos com propriedades de autocura, de acordo com o texto?
2. Qual das seguintes afirmações está correta sobre o processo de autorreparação mencionado no texto? 2. Alternativa **c**.
   - **a.** As microcápsulas liberam o agente de reparo antes de ocorrer qualquer dano na superfície metálica.
   - **b.** As microcápsulas são esferas de paredes metálicas que contêm um agente reparador.
   - **c.** Quando o substrato metálico sofre dano, as microcápsulas são rompidas e liberam um filme polimérico que diminui ou cessa a corrosão.
   - **d.** O processo de autorreparação é eficaz em superfícies de alvenaria e metálicas igualmente.
3. Explique por que o encapsulamento de inibidores de corrosão é importante para a eficácia dos revestimentos inteligentes.
4. Qual dos materiais a seguir teria a mesma classificação daqueles utilizados para formar as paredes das microcápsulas que encapsulam o agente reparador? 4. Alternativa **a**.
   - **a.** Polietileno.
   - **b.** Cobre.
   - **c.** Quartzo.
   - **d.** Vidro.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

1. A proteção anódica é uma técnica utilizada na construção civil para proteger estruturas metálicas contra a corrosão, especialmente em ambientes agressivos, como aqueles encontrados em fundações submersas ou em contato com o solo. Com base no que você estudou sobre formação de ferrugem, que tipo de proteção à corrosão seria adequado para uma estrutura de ferro no concreto armado na construção civil?

2. (Enem) O boato de que os lacres das latas de alumínio teriam um alto valor comercial levou muitas pessoas a juntarem esse material na expectativa de ganhar dinheiro com sua venda. As empresas fabricantes de alumínio esclarecem que isso não passa de uma "lenda urbana", pois ao retirar o anel da lata, dificulta-se a reciclagem do alumínio. Como a liga do qual é feito o anel contém alto teor de magnésio, se ele não estiver junto com a lata, fica mais fácil ocorrer a oxidação do alumínio no forno. A tabela apresenta as semirreações e os valores de potencial-padrão de redução de alguns metais:

Semirreação	Potencial-padrão de redução (V)
$Li^+ + e^- \rightarrow Li$	–3,05
$K^+ + e^- \rightarrow K$	–2,93
$Mg^{2+} + 2\ e^- \rightarrow Mg$	–2,36
$A\ell^{3+} + 3\ e^- \rightarrow A\ell$	–1,66
$Zn^{2+} + 2\ e^- \rightarrow Zn$	–0,76
$Cu^{2+} + 2\ e^- \rightarrow Cu$	+0,34

Disponível em: www.sucatas.com. Acesso em: 28 fev. 2012 (adaptado).

Com base no texto e na tabela, que metais poderiam entrar na composição do anel das latas com a mesma função do magnésio, ou seja, proteger o alumínio da oxidação nos fornos e não deixar diminuir o rendimento da sua reciclagem? 2. Alternativa **e**.

a. Somente o lítio, pois ele possui o menor potencial de redução.
b. Somente o cobre, pois ele possui o maior potencial de redução.
c. Somente o potássio, pois ele possui potencial de redução mais próximo do magnésio.
d. Somente o cobre e o zinco, pois eles sofrem oxidação mais facilmente que o alumínio.
e. Somente o lítio e o potássio, pois seus potenciais de redução são menores do que o do alumínio.

Eletrometalurgia

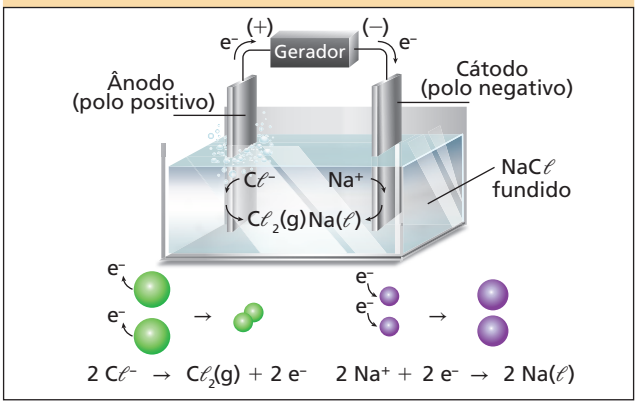
O uso da eletricidade em processos metalúrgicos remonta ao início do século XIX. Utilizando corrente elétrica como um meio de estudar a matéria, o químico inglês Humphry Davy (1778-1829) obteve, em 1807, os metais sódio (Na) e potássio (K) a partir do hidróxido de sódio (NaOH) e do hidróxido de potássio (KOH) fundidos. No ano seguinte, Davy também conseguiu obter o magnésio (Mg), o cálcio (Ca), o estrôncio (Sr) e o bário (Ba).

A decomposição de substâncias compostas em substâncias simples por meio da eletricidade foi denominada **eletrólise**. Atualmente, eletrólise pode ser definida como reações de oxirredução não espontâneas que ocorrem em consequência do fornecimento de energia elétrica para o sistema reacional, a partir de uma fonte externa e, por vezes, utilizando eletrodos inertes, como platina. Esse arranjo experimental é denominado **célula eletrolítica**, aplicada geralmente na metalurgia, como na redução do alumínio extraído da bauxita.

Eletrólise ígnea: isolando substâncias simples

O método empregado por Davy foi chamado de **eletrólise ígnea**, por utilizar substâncias fundidas, e permitiu obter metais alcalinos, alcalinoterrosos e o alumínio, os quais, por serem muito reativos, não tinham sido isolados antes, o que causou grande impacto na indústria. O sódio metálico, por exemplo, pode ser produzido pela aplicação de uma corrente elétrica ao cloreto de sódio no estado líquido (fundido), conforme a figura a seguir.

Eletrólise ígnea do cloreto de sódio



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: BROWN, T. L. *et al*. **Química**: a ciência central. Tradução: Eloiza Lopes, Tiago Jonas e Sonia M. Yamamoto. 13. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2016.

Representação esquemática de uma célula eletrolítica utilizada na eletrólise ígnea do cloreto de sódio e de modelos submicroscópicos dos processos que ocorrem na interface dos eletrodos inertes. Como o sódio metálico é menos denso que o cloreto de sódio, ele se acumula na superfície, facilitando sua retirada. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Nessa célula eletrolítica**,** duas lâminas ou bastões de material condutor e que não reagem nas condições do sistema reacional, por isso denominados **eletrodos inertes**, são colocados em contato com o sal fundido e conectados pelo circuito elétrico externo. Um exemplo de eletrodo inerte é a platina.

Os ânions se deslocam para o eletrodo positivo e cedem seus elétrons, ao passo que os cátions migram para o eletrodo negativo, recebendo os elétrons provenientes do gerador.

Note que, nesse sistema reacional, a fonte de corrente elétrica contínua externa (uma pilha ou bateria, por exemplo) deve fornecer força eletromotriz (voltagem ou tensão) suficiente para que a reação redox não espontânea ocorra.

Comente a diferença entre corrente alternada e corrente contínua e peça aos estudantes que expliquem por que a eletrólise não é realizada com fontes de corrente alternada.

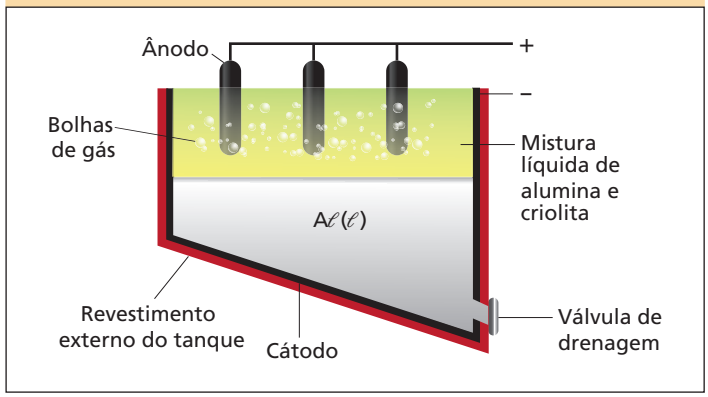
Extração eletrolítica do alumínio e sua reciclagem

O principal minério do qual se extrai o metal alumínio é a bauxita, uma mistura contendo óxido de alumínio ($A\ell_2O_3$) e algumas impurezas, como óxidos de silício e de ferro(III), SiO_2 e Fe_2O_3. Esse óxido de alumínio, também chamado de alumina, apresenta temperatura de fusão superior a 2.000 °C, o que torna a obtenção do alumínio metálico por eletrólise ígnea um processo com altos custos de produção.

Porém, em 1886, o estadunidense Charles Martin Hall (1863-1914) e o químico francês Paul Héroult (1863-1914) desenvolveram, de maneira independente, um método de obtenção do alumínio por eletrólise ígnea da alumina a 1.000 °C, que ficou conhecido como processo Hall-Héroult. Isso foi possível pela mistura do óxido com o minério criolita ($Na_3A\ell F_6$), que provoca a diminuição de sua temperatura de fusão, tornando a eletrólise ígnea da alumina economicamente viável. Como a criolita é encontrada naturalmente apenas na Groenlândia, em quantidades que compensam a exploração comercial, atualmente as indústrias utilizam criolita sintética no processo. Para termos uma ideia do impacto econômico do processo Hall-Héroult, o preço médio de 450 g de alumínio, em 1885, era de 100 dólares, e, em 1890, de apenas 2 dólares.

Nesse processo eletrolítico, o ânodo (polo positivo) atrai os ânions O^{2-}, que são oxidados a gás oxigênio (O_2), enquanto no cátodo (polo negativo) os cátions $A\ell^{3+}$ são reduzidos a alumínio metálico $A\ell(\ell)$. Ou seja, os ânions óxido são os agentes redutores, enquanto os cátions alumínio são os agentes oxidantes. No entanto, reações secundárias são comuns e afetam a eficiência do processo. Por exemplo, os eletrodos constituídos de carbono grafite reagem tanto com o gás oxigênio, sendo oxidados, quanto com o alumínio metálico, sendo reduzidos, respectivamente, a gás carbônico (CO_2) e a ânions carbeto (C^{4-}). A figura a seguir representa esse processo. Note que nesse caso os eletrodos não são inertes, diferentemente do que ocorre na obtenção do sódio, e devem ser trocados periodicamente.

O processo de Hall-Héroult



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

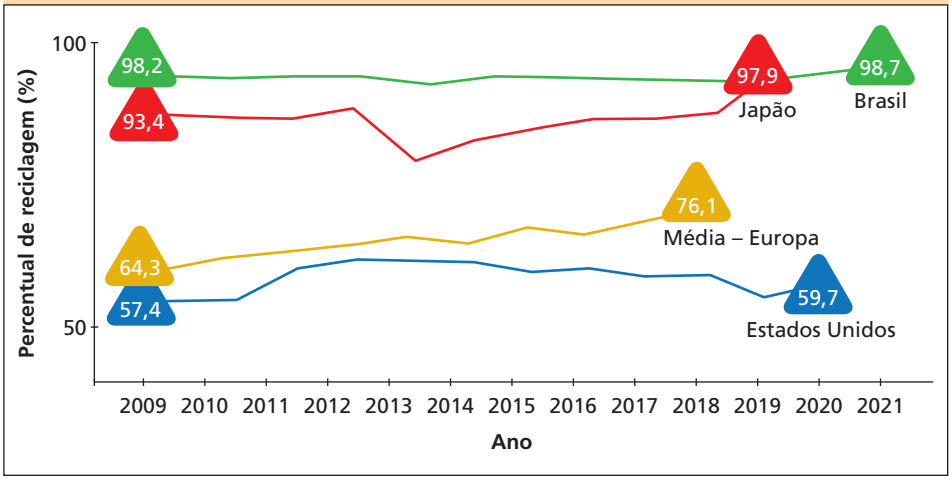
Fonte: elaborado com base em BROWN, T. L. *et al*. **Química**: a ciência central. Tradução: Eloiza Lopes, Tiago Jonas e Sonia M. Yamamoto. 13. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2016.

Esquema simplificado de uma célula eletrolítica utilizada no processo de Hall-Héroult. Alternativamente, o alumínio metálico fundido pode ser retirado do tanque com um sifão. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

A reciclagem de latas de liga de alumínio é um exemplo do conceito de **economia circular**, e o Brasil é um dos líderes mundiais nesse setor. Em 2022, o Brasil atingiu um marco inédito ao reciclar a mesma quantidade de latinhas de alumínio que produziu. O gráfico a seguir traz um panorama sobre a reciclagem no mundo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Percentual de reciclagem de latas de alumínio para bebidas de 2009 a 2021



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: RECICLAGEM. **Associação Brasileira dos Recicladores de Metais (Abrem)**. Disponível em: https://abremreciclagem.com.br/reciclagem. Acesso em: 30 ago. 2024.

Representação gráfica do percentual de reciclagem de latas de alumínio de 2009 a 2021.

Essa é a base do modelo econômico circular: redução do consumo, reutilização e reciclagem de matéria-prima e energia. A reciclagem das latas consome apenas 5% da energia elétrica necessária para produzir alumínio metálico a partir do minério. Representa, ainda, geração de renda para catadores e reduz o impacto ambiental em decorrência da menor quantidade de lixo que vai para os aterros sanitários e de resíduos da etapa de purificação dos minérios que são depositados em barragens como as de Mariana e Brumadinho, em Minas Gerais.

Eletrólise em solução aquosa

Por causa da alta temperatura de fusão dos compostos iônicos, a obtenção de metais por eletrólise ígnea é geralmente um processo de custo elevado. No entanto, para os compostos iônicos solúveis em água, é possível a realização da eletrólise em solução aquosa à temperatura ambiente.

Nesse tipo de eletrólise, deve-se considerar, além dos íons provenientes do composto iônico, que a água se autoioniza e pode ser decomposta em gás oxigênio e gás hidrogênio pela passagem de corrente elétrica, processos que podem ser representados pelas equações químicas a seguir.

Autoionização:

$$H_2O(\ell) \rightleftarrows H^+(aq) + OH^-(aq)$$

Redução (cátodo, polo –):

$$2\ H_2O(\ell) + 2\ e^- \rightleftarrows H_2(g) + 2\ OH^-(aq)$$

Oxidação (ânodo, polo +):

$$2\ H_2O(\ell) \rightleftarrows 4\ H^+(aq) + O_2(g) + 4\ e^-$$

Por essa razão, nem sempre os produtos da eletrólise ígnea e da eletrólise em solução aquosa coincidem. A eletrólise industrial da salmoura – uma solução concentrada de cloreto de sódio –, por exemplo, produz duas das substâncias mais utilizadas na indústria química: o hidróxido de sódio (NaOH) e o gás cloro ($C\ell_2$). Observe que um dos produtos formados é diferente dos obtidos na eletrólise ígnea do cloreto de sódio, estudada anteriormente. No lugar do sódio metálico, há formação de íons hidróxido (OH^-) em razão da redução de água, o que permite obter NaOH pela evaporação da água residual.

Nesse momento, vale a pena citar aplicações do NaOH e do $C\ell_2$. Inicie a discussão perguntando aos estudantes se conhecem os produtos soda cáustica e hipoclorito.

Fique por dentro

Fundação Ellen MacArthur – Economia circular

O QUE é a economia circular?. **Ellen MacArthur Foundation**. Disponível em: https://ellenmacarthurfoundation.org/pt/temas/economia-circular-introducao/visao-geral. Acesso em: 23 ago. 2024.

Nessa página da internet, você pode saber mais sobre a economia circular. A fundação Ellen MacArthur, que se dedica a promover a transição da economia linear para esse novo modelo econômico, foi concebida pela velejadora que dá nome à entidade durante uma circum-navegação pelo planeta, que durou 72 dias e envolveu grande restrição de recursos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Potenciais-padrão de redução a 25 °C

Semirreação	Potencial-padrão de redução (V)
$C\ell_2(g) + 2\ e^- \rightleftarrows 2\ C\ell^-(aq)$	+1,36 V
$O_2(g) + 4\ H^+(aq) + 4\ e^- \rightleftarrows 2\ H_2O(\ell)$	+1,23 V
$O_2(g) + 2\ H_2O(\ell) + 4\ e^- \rightleftarrows 4\ OH^-(aq)$	+0,40 V
$2\ H^+(aq) + 2\ e^- \rightleftarrows H_2(g)$	0,00 V*
$2\ H_2O(\ell) + 2\ e^- \rightleftarrows H_2(g) + 2\ OH^-(aq)$	–0,83 V
$Na^+(aq) + e^- \rightleftarrows Na(s)$	–2,71 V

Fonte: elaborado com base em LIDE, D. R. **CRC Handbook of Chemistry and Physics**. 90th ed. Boca Raton: CRC Press, 2010.

* Como não é possível medir isoladamente os potenciais de eletrodo, adotou-se o eletrodo-padrão de hidrogênio como referencial, ao qual se convencionou o valor de 0 V (zero volt).

Para prever qual substância será formada em cada eletrodo, é necessário identificar as espécies químicas presentes e suas respectivas concentrações, além de avaliar seus potenciais-padrão do eletrodo. Como tanto os íons $OH^-(aq)$ quanto os íons $H^+(aq)$, provenientes da autoionização da água, estão presentes em concentrações muito baixas no início da reação ($1{,}0 \cdot 10^{-7}$ mol L^{-1}, a 25 °C), eles não têm grande relevância no processo de oxirredução. De acordo com os dados da tabela a seguir, os íons $OH^-(aq)$ apresentam o menor potencial-padrão de redução entre as espécies químicas que podem ser oxidadas na eletrólise da salmoura. Em contrapartida, os íons $H^+(aq)$ apresentam o maior potencial-padrão de redução entre as espécies químicas passíveis de serem reduzidas nesse processo eletroquímico.

Além dos fatores citados anteriormente, questões cinéticas também devem ser consideradas. Por isso, para fins práticos, o uso de séries como a de reatividade e a de prioridade de descarga é útil, desde que utilizadas apropriadamente.

Aspectos quantitativos da eletrólise

Atualmente, é possível relacionar a quantidade de carga elétrica (*Q*) fornecida durante um período (*t*) em um processo eletrolítico com a massa (*m*) e a quantidade de substâncias (*n*) das espécies químicas participantes.

Duas importantes contribuições no estabelecimento dessas relações foram os trabalhos do físico e químico inglês Michael Faraday (1791-1867), entre 1831 e 1834, e do físico estadunidense Robert Andrews Millikan (1868-1953), de 1909. Faraday demonstrou que a quantidade de produto formada ou de reagente utilizada é diretamente proporcional à quantidade de corrente elétrica que flui pela célula eletrolítica, ou seja, é estequiometricamente equivalente à quantidade de elétrons fornecida. Millikan determinou experimentalmente a carga do elétron (carga elementar).

Se multiplicarmos a carga de um elétron ($1{,}602176634 \cdot 10^{-19}$ C) pela constante de Avogadro ($N_A = 6{,}02214076 \cdot 10^{23}$ mol^{-1}), obteremos a constante de Faraday (F), que representa a carga em 1 mol de elétrons e equivale a aproximadamente 96.500 C mol^{-1}.

Uma grandeza bastante empregada para caracterizar um circuito elétrico é a intensidade de corrente elétrica (*i*), que representa a quantidade de carga que atravessa uma secção do circuito por unidade de tempo. Essa grandeza apresenta como unidade no SI o ampère (A). Cada ampère corresponde à carga de 1 coulomb (1 C), que passa por determinada secção do circuito em 1s: $1\ A = 1\ C\ s^{-1}$.

Multiplicando a intensidade de corrente de um circuito elétrico por seu tempo de funcionamento, em segundo, obtém-se a quantidade de carga elétrica que atravessou o circuito:

$$Q = i \cdot t$$

Combinando a quantidade de carga elétrica com a constante de Faraday, podemos determinar a quantidade total de elétrons envolvida na eletrólise e, com base nas proporções estequiométricas estabelecidas nas semirreações, calcular a quantidade dos reagentes e produtos.

Vamos retomar alguns exemplos dados ao longo do capítulo, consultando a tabela periódica para obter os valores de massa molar.

$$Cu(s) \rightleftarrows Cu^{2+}(aq) + 2\ e^-$$

Ao transferir cerca de 193.000 C, deve ocorrer a oxidação de 63,6 g (1 mol) de cobre.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

$$2\ C\ell^-(aq) \rightleftarrows C\ell_2(g) + 2\ e^-$$

Ao transferir cerca de 193.000 C, deve ocorrer a oxidação de 71 g (2 mol) de íons cloreto.

$$A\ell^{3+}(aq) + 3\ e^- \rightleftarrows A\ell(s)$$

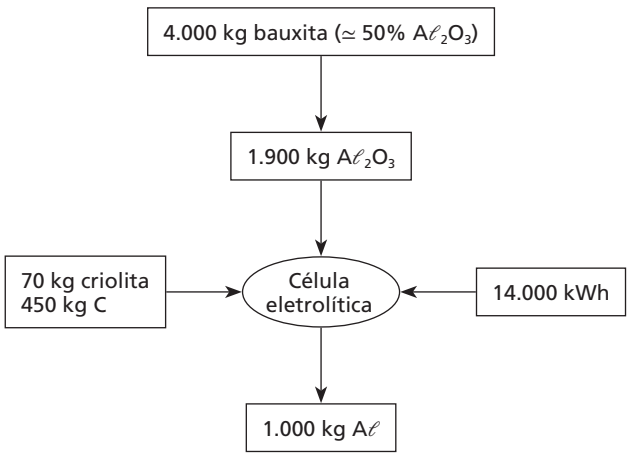
Para depositar 27 g (1 mol) de alumínio, são necessários cerca de 289.500 C.

$$Na^+(aq) + e^- \rightleftarrows Na(s)$$

Para depositar 23 g (1 mol) de sódio, são necessários cerca de 96.500 C.

Note que ao transferir a mesma quantidade de carga é necessária uma quantidade de substância (e de massa) maior de íons cloreto do que de cobre metálico. Observe também que, para obter alumínio metálico, gasta-se muito mais energia do que para obter massa similar de sódio metálico.

Conforme discutido anteriormente, o metal alumínio é obtido a partir da bauxita pelo processo de eletrólise. Simplificadamente, são necessárias cerca de 4 t de bauxita com pureza de aproximadamente 50% em óxido de alumínio para a produção de 1 t de alumínio. Também são necessários 70 kg de criolita e 450 kg de carbono, além da energia elétrica, como mostra o fluxograma a seguir. Nesse processo, o óxido $A\ell_2O_3$ é dissolvido na criolita em uma cuba eletrolítica revestida de grafite.



Fonte: elaborado com base em BROWN, T. L. *et al*. **Chemistry**: the central science. 11st ed. New Jersey: Prentice Hall, 2008.

Fluxograma representando a quantidade de materiais e energia necessários para a obtenção de 1.000 kg de alumínio a partir da bauxita.

Admitindo que determinada lata de bebida com 13,8 g é feita de uma liga metálica que contém 98% de alumínio, vamos calcular quantas horas deveria durar a eletrólise da alumina, sob uma corrente de 10 A, para obter a massa de alumínio contida em uma única lata.

Primeiro, obtém-se a quantidade de alumínio necessária: $m(A\ell) = 13{,}8\ g \cdot 98\% \simeq 13{,}5\ g$

Em seguida, determina-se a quantidade de carga a ser fornecida:

$A\ell^{3+}(aq)$	+	$3\ e^-$	⇄	$A\ell(s)$
		289.500	_____	27 g
		Q	_____	13,5 g

$$Q = \frac{289.500\ C \cdot 13{,}5\ g}{27\ g} \therefore Q = 144.750\ C$$

Por fim, calcula-se o tempo:

$$Q = i \cdot t \Rightarrow t = \frac{Q}{i} \Rightarrow t = \frac{144.750\ C}{10\ A}$$

$$\therefore t = 14.475\ s \simeq 4\ h$$

Perceba que tempo e intensidade de corrente elétrica são grandezas inversamente proporcionais. Assim, se dobrarmos a intensidade de corrente elétrica, observaremos uma redução do tempo pela metade.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.
NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

ATIVIDADE COMENTADA

Considere uma célula eletrolítica montada pela colocação de dois eletrodos inertes em uma solução de sulfato de cobre ($CuSO_4$). Após aplicar uma corrente de 1,5 A durante 2 h, determine a massa de cobre depositada sobre a superfície de um dos eletrodos.

Analisar o enunciado

Esse enunciado apresenta um cenário relacionado a uma célula eletroquímica, na qual ocorre a deposição de cobre a partir de uma solução de sulfato de cobre ($CuSO_4$) quando uma corrente elétrica é aplicada. Para resolver o problema, é necessário saber a relação entre as variáveis: carga, corrente, massa e tempo.

Selecionar as informações relevantes

- Corrente elétrica (i) = 1,5 A
- Tempo (t) = 2 h = 7.200 s (1 h = 3.600 s)
- Constante de Faraday (F) = 96.500 C mol^{-1}
- Massa molar do cobre (Cu) = 63,5 g mol^{-1}

Aplicar o conceito estudado

Primeiro, precisamos calcular a carga elétrica (Q) dessa célula eletrolítica. Para isso, usaremos a fórmula $Q = i \cdot t$.

$$Q = 1{,}5\ A \cdot 7.200\ s = 10.800\ C$$

Conhecendo a carga elétrica dessa célula eletrolítica, podemos calcular a massa de cobre depositada sobre a superfície do eletrodo. Sabendo que o cobre no sulfato de cobre tem carga 2+ (Cu^{2+}), para a deposição de 1 mol de cobre metálico sobre o eletrodo inerte há a necessidade de 2 mol de elétrons:

$$Cu^{2+}(aq) + 2\ e^- \rightleftarrows Cu(s)$$

Considerando a constante de Faraday igual a 96.500 C mol^{-1}, temos:

$$63{,}5\ g\ Cu^{2+} \text{ —— } 2 \cdot 96.500\ C$$
$$x \text{ —— } 10.800\ C$$
$$\therefore x \simeq 3{,}5\ g$$

Verificar a solução

O resultado de 3,5 g é coerente com a proporcionalidade de carga que passou pela solução, já que o valor (10.800 C) é bem inferior à carga para depositar 1 mol de Cu (193.000 C).

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

3. (UFMS) O alumínio já foi o metal mais caro do mundo. Por isso, Napoleão disponibilizava talheres e pratos de alumínio para convidados especiais nos banquetes, enquanto os menos favorecidos usavam de ouro. Em 1855, o norte-americano Charles Martin Hall e o francês Paul Louis Toussaint Héroult descobriram e patentearam quase simultaneamente um processo de obtenção de alumínio a partir do minério bauxita, rico em óxido de alumínio.

KEAN, Sam. **A colher que desaparece**: Editora Zahar, 2011 (adaptado).

O processo ficou conhecido como Hall-Heróult e permitiu o estabelecimento da indústria global do alumínio, cuja obtenção ocorre por meio de: 3. Alternativa **a**.

a. Eletrometalurgia.
b. Hidrometalurgia.
c. Pirometalurgia.
d. Calcinação.
e. Ustulação.

4. Por vezes, as relações quantitativas que descrevem uma transformação química em função da carga elétrica são definidas pela lei de Faraday. Com base nesse princípio, copie em seu caderno e complete a tabela utilizando a lei de Faraday na produção de alumínio metálico a partir da eletrólise do óxido de alumínio (Al_2O_3).

Combinação	Massa de Al (g)	Carga necessária (C)	Corrente (A)	Tempo de eletrólise (s)
A	135		2	
B		4.825		96,5
C			5	19.300

MODELO

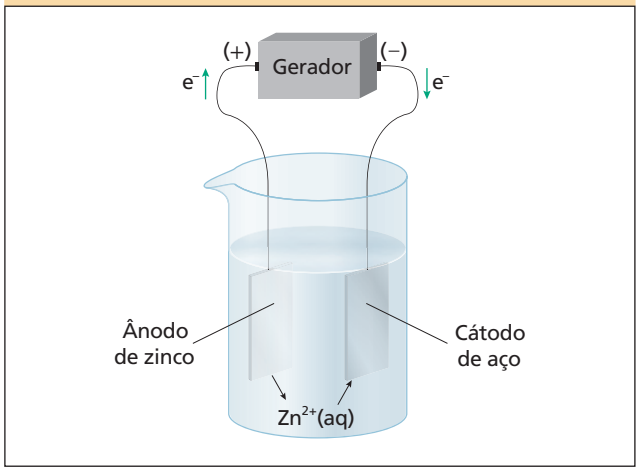
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Galvanoplastia e proteção catódica

Outra forma bastante eficaz de proteger uma superfície metálica contra a corrosão é a **galvanização**. Galvanizar uma peça de ferro consiste em revesti-la com uma fina camada de outro metal, comumente o zinco. Como o Zn(s) é um agente redutor mais forte que o Fe(s), o zinco metálico é oxidado preferencialmente ao ferro metálico. Assim, mesmo se o revestimento de zinco for desgastado e o ferro ficar exposto ao gás oxigênio e à umidade, o eletrodo de zinco age como ânodo e é corroído no lugar do eletrodo de ferro.

A galvanoplastia utiliza-se da passagem de corrente elétrica contínua por uma solução aquosa contendo o íon do metal que se quer depositar, um processo denominado **eletrólise**. A zincagem eletrolítica do aço, uma liga de ferro e carbono em que o ferro é o componente majoritário, é representada na ilustração a seguir.

Galvanização do aço por zinco



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em BROWN, T. L. *et al*. **Química**: a ciência central. 13. ed. Tradução: Eloiza Lopes, Tiago Jonas e Sonia M. Yamamoto. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2016.

Representação esquemática do processo de galvanização do aço por zinco. A galvanoplastia não é o único método possível para recobrir um metal com outro. A zincagem, por exemplo, também pode ser feita por imersão do objeto em zinco fundido. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Os eletrodos da célula eletroquímica são uma lâmina de zinco metálico e a peça de aço que será galvanizada. Os eletrodos são imersos em solução aquosa de sulfato de zinco ($ZnSO_4$). As espécies presentes no meio reacional que poderiam ser reduzidas são os cátions $Zn^{2+}(aq)$, a água e os cátions $H^+(aq)$ provenientes de sua autoionização; as espécies passíveis de oxidação são os ânions $SO_4^{2-}(aq)$, a água e os ânions $OH^-(aq)$ provenientes de sua autoionização. Em função das concentrações das espécies químicas e de seus potenciais de redução, observa-se que os cátions $Zn^{2+}(aq)$ são reduzidos no cátodo e que o Zn(s) é oxidado no ânodo. Assim, as equações químicas das semirreações que ocorrem em cada eletrodo são:

$Zn(s) \rightleftarrows Zn^{2+}(aq) + 2\ e^-$ Ânodo (lâmina de zinco)

$Zn^{2+}(aq) + 2\ e^- \rightleftarrows Zn(s)$ Cátodo (lâmina de aço)

Se escrevêssemos a equação global, pareceria que nada ocorreu. Porém, durante a eletrólise, átomos de zinco do ânodo são transferidos para a superfície do cátodo de aço, galvanizando-o. Por se tratar de uma reação não espontânea, é necessário aplicar uma diferença de potencial para que ela aconteça, por esse motivo é empregado um gerador elétrico nesse processo.

Nos processos industriais de galvanização, o controle da quantidade de material depositado é de extrema importância para determinar a eficiência da proteção anticorrosiva. As relações entre a energia elétrica e as quantidades das substâncias produzidas e consumidas nos processos eletroquímicos foram estabelecidas entre o início do século XIX e o início do século XX e podem ser resumidas, em linguagem atual, como: a quantidade de produto formado ou de reagente consumido pela passagem de uma corrente elétrica é estequiometricamente equivalente à quantidade de elétrons fornecida. A estequiometria refere-se às relações que se estabelecem com base na proporção entre os participantes de uma transformação química, explicitada pelos coeficientes estequiométricos das equações químicas balanceadas.

Por exemplo, na eletrólise de uma solução aquosa contendo íons $Zn^{2+}(aq)$, utilizada para galvanizar uma peça de aço, em que foi aplicada uma corrente elétrica de 0,5 A durante 1.930 s (aproximadamente 32 min), qual é a massa de zinco depositada sobre a peça?

- Primeiro, calcula-se a quantidade de carga elétrica (Q) envolvida no processo, em coulomb (C), multiplicando a intensidade de corrente (i) que atravessa o circuito elétrico, em ampère (A), pelo tempo de funcionamento (t) da eletrólise, em segundo (s).

$$Q = i \cdot t \Rightarrow Q = 0{,}5\ A \cdot 1.930\ s \therefore Q = 965\ C$$

- Em seguida, determina-se a quantidade de substância de elétrons correspondente, utilizando como fator de conversão a constante de Faraday (96.500 C mol^{-1}).

Quantidade de carga		Quantidade de substância
96.500 C	——	1 mol
965 C	——	$n(e^-)$

$$n(e^-) = \frac{965\ C \cdot 1\ mol}{96.500\ C} = 1 \cdot 10^{-2}\ mol$$

- Estabelece-se, então, a relação estequiométrica entre a quantidade de substância de elétrons e a quantidade de substância de metal depositado.

A semirreação que ocorre no cátodo é:

$$Zn^{2+}(aq) + 2\ e^- \rightarrow Zn(s)$$

Assim, para 1 mol de zinco depositado, são necessários 2 mol de elétrons. Como $1 \cdot 10^{-2}$ mol de elétrons atravessam o circuito, a quantidade de zinco depositada é dada por:

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Quantidade de substância		Quantidade de substância de elétrons de zinco
2 mol	——	1 mol
$1 \cdot 10^{-2}$ mol	——	n(Zn)

$$n(\text{Zn}) = \frac{1 \cdot 10^{-2}\ \text{mol} \cdot 1\ \text{mol}}{2\ \text{mol}} \simeq 5 \cdot 10^{-3}\ \text{mol}$$

- Por fim, determina-se a massa correspondente à quantidade de substância de metal depositado utilizando como fator de conversão a massa molar (M) da espécie química. A massa molar é medida em g mol^{-1} e pode ser obtida a partir das massas atômicas disponíveis na tabela periódica.

Quantidade de substância de zinco		Massa de zinco
1 mol	——	65,4 g
$5 \cdot 10^{-3}$ mol	——	m(Zn)

$$m(\text{Zn}) = \frac{5 \cdot 10^{-3}\ \text{mol} \cdot 65{,}4\ \text{g}}{1\ \text{mol}}$$

$$\therefore m(\text{Zn}) = 0{,}327\ \text{g} = 327\ \text{mg}$$

Para enriquecer a discussão, solicite aos estudantes que proponham um procedimento experimental para determinar a eficiência de uma eletrodeposição. Isso pode ser realizado por gravimetria, ou seja, medindo a massa do objeto antes e após a galvanização.

66NORTH/E+/GETTY IMAGES

Motor de uma motocicleta cujas peças foram revestidas com crômio (Cr).

Portanto, na galvanização da peça de aço, depositam-se aproximadamente 327 mg de zinco quando aplicada uma corrente de 0,5 A durante 1.930 s, com a condição de que o processo opere com 100% de eficiência, o que de maneira geral não ocorre.

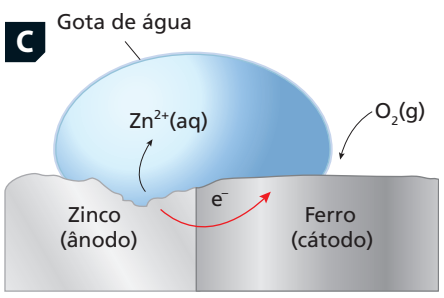
A galvanoplastia, além de melhorar a resistência à corrosão, também é empregada com fins estéticos e decorativos. A cromagem é bastante utilizada com esse propósito, pois o revestimento tem um aspecto brilhante; no entanto, os íons Cr^{6+} têm elevada toxicidade e suas soluções devem ser manuseadas cuidadosamente para evitar riscos à saúde e ao ambiente.

Galvanizar grandes estruturas metálicas, como encanamentos subterrâneos, cascos de navios e tanques de armazenamento de combustíveis, é operacionalmente inviável e seu custo, provavelmente, muito alto. Para serem protegidas da corrosão, essas estruturas geralmente são conectadas a pedaços de metais de menor $E°_{red}$, para que se tornem cátodos de uma célula eletroquímica. Por exemplo, barras de um metal mais fortemente redutor do que o ferro, como o magnésio (Mg) ou o zinco (Zn), podem ser fixadas ao longo do casco de um navio, como mostra a figura a seguir. As barras funcionam como ânodos se oxidando preferencialmente e protegendo o casco do navio contra a corrosão. A proteção de um metal contra corrosão, tornando-o cátodo de uma célula eletroquímica, é denominada **proteção catódica**, e o metal que é oxidado enquanto protege o cátodo é chamado **metal de sacrifício**.

Proteção catódica por ânodo de zinco em casco de navio

IAM_ANUPHONE/SHUTTERSTOCK

MAR PHOTOGRAPHICS/ALAMY/FOTOARENA



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em BROWN, T. L. *et al*. **Química**: a ciência central. Tradução: Robson Matos. 9. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

(A) Vista inferior do navio. **(B)** Detalhe do casco com o ânodo de zinco fixado, material que precisa ser substituído periodicamente devido ao desgaste ocasionado pela corrosão. **(C)** Representação esquemática da célula eletroquímica. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

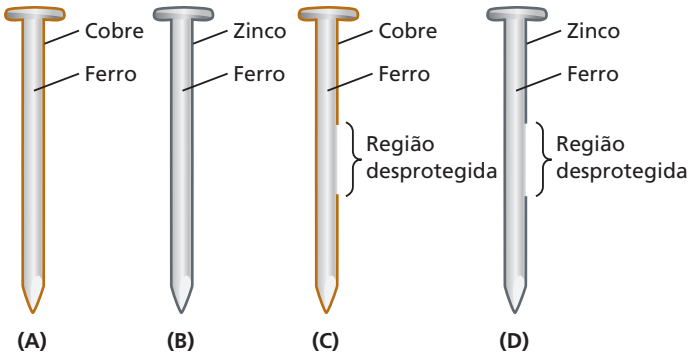
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

5. Considere as quatro imagens a seguir, que correspondem ao corte transversal de quatro pregos galvanizados.



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Nos pregos **(A)** e **(B)** a camada de galvanização está intacta, enquanto nos pregos **(C)** e **(D)** há uma parte do prego que não está galvanizada. Com base nos potenciais-padrão de redução a seguir, ordene os pregos **(A)**, **(B)**, **(C)** e **(D)** em ordem crescente em termos da durabilidade diante de um meio ácido. Justifique sua resposta.

Dados:

$Zn^{2+}(aq) + 2\ e^- \rightleftarrows Zn(s)$ $E_{red} = -0{,}76$ V

$Fe^{2+}(aq) + 2\ e^- \rightleftarrows Fe(s)$ $E_{red} = -0{,}41$ V

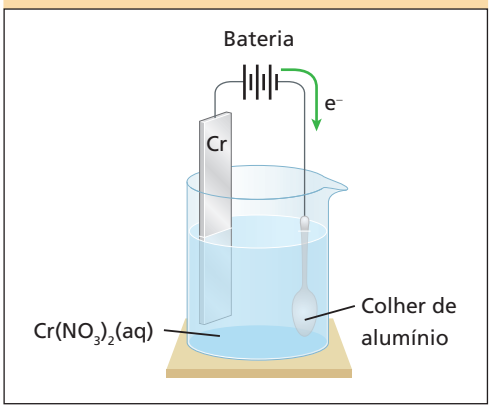
$2\ H^+(aq) + 2\ e^- \rightleftarrows H_2(s)$ $E_{red} = 0{,}00$ V

$Cu^{2+}(aq) + 2\ e^- \rightleftarrows Cu(s)$ $E_{red} = +0{,}34$ V

6. Em uma empresa especializada em galvanização, para galvanizar uma placa de ferro, um técnico utilizou no procedimento uma barra de zinco, solução aquosa de sulfato de zinco e a placa de ferro que desejava galvanizar. Foi utilizado nesse processo 0,5 mol de elétrons. O técnico deve ter usado a chapa de ferro como cátodo ou ânodo nesse processo? Que massa de zinco metálico se deposita na chapa de ferro?

7. Considere uma indústria que deseja depositar uma camada de crômio em uma colher de alumínio por meio de uma eletrólise aquosa, conforme ilustra a imagem a seguir.

Célula eletrolítica para galvanização de metais



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática de uma célula eletroquímica para galvanização de metais.

A massa da colher é de 55 g e, após a deposição de crômio, não deve apresentar massa superior a 61,5 g. A partir de uma célula eletrolítica que opera com uma corrente de 250 A, determine o tempo máximo aproximado, em segundos, que a colher poderá ficar submersa na solução sendo submetida à eletrólise.

Dados: massa molar do Cr: 52 g mol^{-1}; 1 F = 96.500 C

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADES DE FECHAMENTO

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. Muitos metais podem ser obtidos a partir de seus compostos por meio da reação destes com hidrogênio gasoso. Considere a equação química para a obtenção do estanho metálico, apresentada a seguir, e faça o que se pede.

$$SnO_2(s) + 2\ H_2(g) \rightarrow Sn(s) + 2\ H_2O(g)$$

a. Identifique os elementos químicos cujo Nox varia na reação e o valor dessa variação (ΔNox).

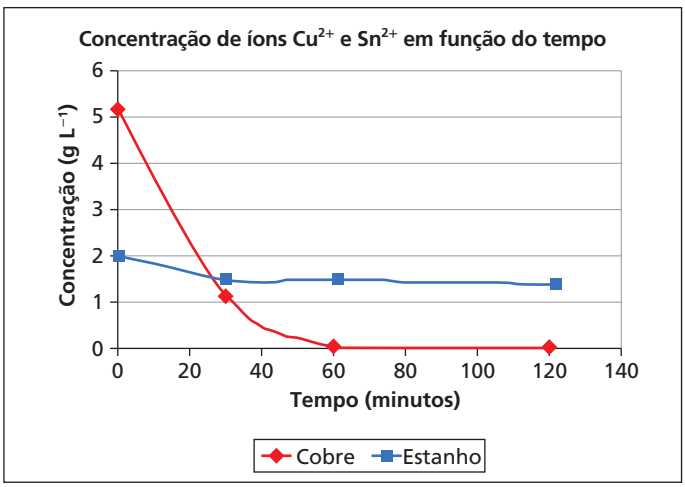
b. Classifique a atmosfera em que ela ocorre em oxidante ou redutora, justificando sua resposta.

2. Um dos primeiros métodos para a obtenção das terras-raras lantânio, cério, promécio e neodímio, na forma metálica e em pequenas quantidades, foi desenvolvido em 1952 por químicos canadenses. Por esse método, os óxidos reagem para produzir cloretos, e estes são reduzidos com cálcio metálico à temperatura de 1.450 °C, formando o respectivo metal e cloreto de cálcio.

a. De acordo com o processo descrito, escreva, em seu caderno, a equação química para a obtenção de neodímio metálico a partir do cloreto de neodímio(III).

b. Qual substância é o agente redutor e qual é o agente oxidante nessa reação?

3. Com o intuito de avaliar a viabilidade da recuperação dos metais cobre e estanho de placas de circuito impresso encontradas em sucatas eletrônicas, dissolveram-se as placas em ácido sulfúrico e, em seguida, monitorou-se a variação da concentração de íons em solução ao longo do tempo de passagem de corrente elétrica pelo sistema.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: VEIT, H. M. *et al.* Utilização de processos mecânicos e eletroquímicos para reciclagem de cobre de sucatas eletrônicas. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 61, n. 2, p. 159-164, 2008.

Representação gráfica da deposição eletroquímica de cobre e estanho de sucata eletrônicas.

a. Os íons depositaram-se no cátodo ou no ânodo? Justifique.

b. Para qual dos dois metais o processo metalúrgico extrativo empregado foi mais eficiente? Justifique seu raciocínio.

4. (Unicamp-SP) Em um determinado processo eletrolítico, uma pilha mostrou-se capaz de fornecer $5{,}0 \cdot 10^{-3}$ mol de elétrons, esgotando-se depois.

a. Quantas pilhas seriam necessárias para se depositar 0,05 mol de cobre metálico, a partir de uma solução de Cu^{2+}, mantendo-se as mesmas condições do processo eletrolítico?

b. Quantos gramas de cobre seriam depositados nesse caso?

5. A eletrólise, sob as mesmas condições de uma solução aquosa contendo íons V^{3+} e de uma solução aquosa contendo íons V^{2+}, não produz a mesma massa de vanádio metálico. Explique por quê.

6. Uma estudante realizou um experimento que consistiu na passagem de corrente elétrica contínua em uma solução aquosa de iodeto de potássio (KI). Para auxiliar a identificação dos produtos, foram adicionadas, próximo aos eletrodos, solução alcoólica de fenolftaleína e suspensão de amido em

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

água. A solução alcoólica de fenolftaleína muda de incolor para rosa na presença de concentrações de íons $OH^-(aq)$ a 25 °C superiores a cerca de 10^{-8} mol L^{-1}, e a suspensão de amido adquire intensa coloração azul na presença de I_2. Sobre os resultados observados, é correto afirmar que: 6. Alternativa **a**.

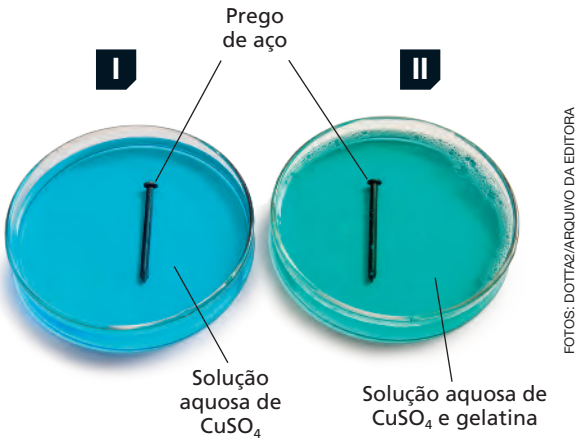
a. houve formação de gás no cátodo.

b. a solução tornou-se rosa próximo ao ânodo.

c. a solução tornou-se azul próximo ao cátodo.

d. não foram identificadas evidências de transformação química.

7. A uma estudante foi apresentada a seguinte questão. É possível diminuir a rapidez de uma reação de oxirredução? Ela pesquisou e propôs o teste representado pela figura a seguir.



FOTOS: DOTTA2/ARQUIVO DA EDITORA

a. Qual hipótese essa estudante provavelmente quer testar com essa atividade?

b. Escreva, em seu caderno, a equação química da reação principal que ocorre no sistema I sem incluir o íon que não participa do processo, justificando sua resposta por meio da série de reatividade dos metais. Essa reação também deve ocorrer no sistema II?

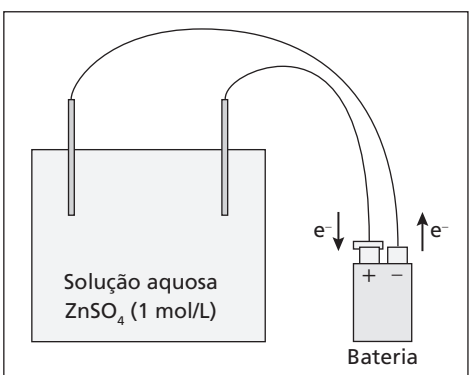
c. Haverá diferença na rapidez da reação nos dois sistemas? Caso haja, em qual deles a reação será mais rápida? Justifique.

d. Em grupo, escrevam um roteiro detalhando as etapas para a execução do teste proposto pela estudante.

8. (EsPCEx) Nestes últimos anos, os alunos da EsPCEx têm realizado uma prática no laboratório de química envolvendo eletrólise com eletrodos inertes de grafite. Eles seguem um procedimento experimental conforme a descrição:

- Num béquer de capacidade 100 mL (cuba eletrolítica) coloque cerca de 50 mL de solução aquosa de sulfato de zinco ($ZnSO_4$) de concentração 1 mol · L^{-1}. Tome como eletrodos duas barras finas de grafite. Ligue-as com auxílio de fios a uma fonte externa de eletricidade (bateria) com corrente de 2 Ampères. Esta fonte tem capacidade para efetuar perfeitamente esse processo de eletrólise. Uma das barras deve ser ligada ao polo negativo da fonte e da outra barra ao polo positivo da fonte. Mergulhe os eletrodos na solução durante 32 minutos e 10 segundos e observe.

Considere o arranjo eletrolítico (a 25 °C e 1 atm), conforme visto na figura a seguir:



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Desenho ilustrativo – Fora de escala.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Continua

Dados: 1 Faraday (F) = 96.500 Coulomb (C) / mol de elétrons

Acerca do experimento e os conceitos químicos envolvidos são feitas as seguintes afirmativas:

I. Na superfície da barra de grafite ligada como cátodo da eletrólise ocorre e eletrodeposição do zinco metálico.

II. A semirreação de oxidação que ocorre no ânodo da eletrólise é $Zn(s) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + 2\ e^-$.

III. Durante o processo a barra de grafite ligada ao polo positivo da bateria oxida.

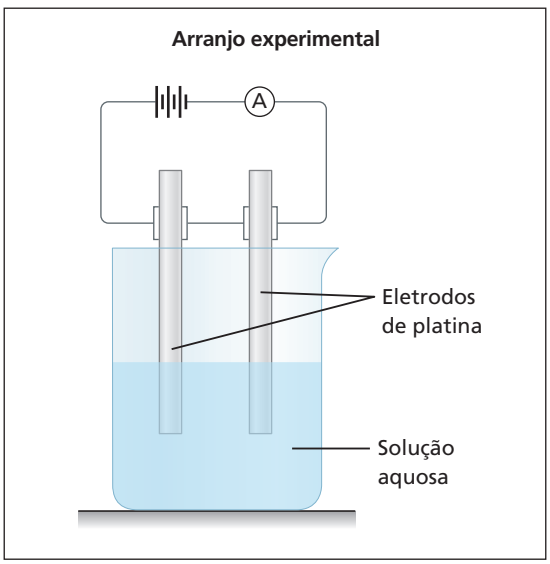
IV. No ânodo da eletrólise ocorre uma reação de oxidação da hidroxila com formação do gás oxigênio e água.

V. A massa de zinco metálico obtida no processo de eletrólise será 0,83 g.

Das afirmativas feitas, estão corretas apenas 8. Alternativa **a**.

a. I e IV.
b. I, III e IV.
c. I e V.
d. II e III.
e. III, IV e V.

9. Um estudante montou um arranjo experimental para investigar a condutividade elétrica de algumas soluções aquosas. Para isso, ele usou água destilada, uma fonte de energia elétrica (⊣|||⊢) e um amperímetro (A), conforme esquematizado a seguir



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática de um arranjo experimental para investigar a condutividade elétrica de soluções aquosas.

Os resultados experimentais foram apresentados no seguinte quadro:

Exp.	Soluto	Corrente medida	Observações visuais
A	Açúcar ($C_{12}H_{22}O_{11}$)	Zero	Não houve alteração perceptível.
B	Ácido sulfúrico (H_2SO_4)	0,5 A	Houve evolução de gases em ambos os eletrodos.
C	Sulfato de cobre(II) ($CuSO_4$)	0,5 A	Houve evolução de gás em um eletrodo e houve deposição de cobre no outro eletrodo.

É correto afirmar que: 9. Alternativa **d**.

a. Não houve reação em A, pois o açúcar é um bom condutor de eletricidade quando dissolvido em água.
b. Os gases liberados em B são o hidrogênio e o dióxido de enxofre.
c. O gás liberado em C é o trióxido de enxofre.
d. Em C, a deposição de cobre ocorre no cátodo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Capítulo 23

Adulteração de combustíveis, alimentos e bebidas

ALEXRATHS/ISTOCK/GETTY IMAGES

Combustíveis, alimentos, bebidas, entre outros produtos comercializados no Brasil, precisam atender a critérios de qualidade e segurança. Esses pré-requisitos podem ser aferidos por meio de análises laboratoriais que avaliam as propriedades químicas e físicas dos produtos a fim de identificar algum tipo de adulteração.

Fique por dentro

Estados da matéria

ESTADOS DA MATÉRIA. Colorado: [*s. n.*], 2002-2024. 2 simulações. Publicado por University of Colorado. Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/states-of-matter-basics/latest/states-of-matter-basics_pt_BR.html. Acesso em: 22 ago. 2024.

Simule o comportamento de algumas substâncias em função da temperatura e pressão variáveis. Escolha um material, controle sua temperatura e da pressão e observe o comportamento de suas partículas nesse simulador da Universidade do Colorado.

Infelizmente, a adulteração de produtos destinados ao consumo é uma prática comum e tem como principal objetivo aumentar o lucro das vendas. Essa prática diminui a qualidade do produto comercializado e, muitas vezes, põe em risco o ambiente e a saúde do consumidor, além de ser considerada crime, previsto no Código Penal brasileiro.

Uma das formas de adulteração do etanol comercializado nos postos de combustíveis, por exemplo, é a adição de água ou de metanol ao produto. Como essas substâncias são incolores e solúveis em etanol, os indícios da adulteração não são visivelmente evidentes.

Outros exemplos são a adulteração e a falsificação de alimentos e bebidas. No leite, a adulteração pode ocorrer pela adição de água ou de soro de leite, proveniente da produção de queijo, para aumentar seu volume. Nesse caso, para ocultar a diluição, alguns distribuidores adicionam amido de milho ao produto. Entretanto, já foram encontradas outras substâncias, como o formaldeído (CH_2O), conhecido como formol, e o hidróxido de sódio (NaOH), conhecido como soda cáustica, adicionadas ao leite com o objetivo de mascarar péssimas condições de higiene, aumentando o prazo de validade até sua esterilização. Como as quantidades adicionadas dessas substâncias são muito pequenas, a aparência do leite não é alterada, mas essa prática modifica de maneira significativa as características físico-químicas do produto, além de ter efeitos prejudiciais aos consumidores.

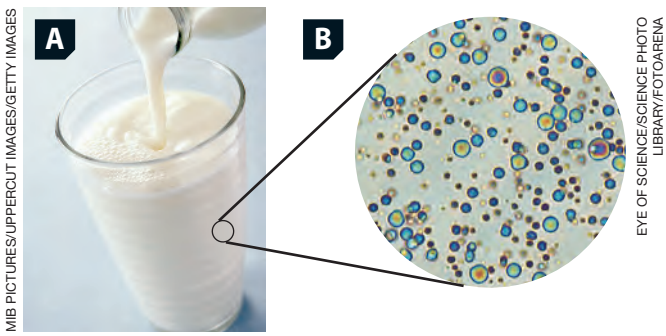
Conhecer as propriedades químicas e físicas características dos sistemas a nossa volta, as quais estudaremos neste capítulo, permite-nos compreender certas adulterações em produtos comerciais.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Análise de misturas

Quando uma parte do Universo é selecionada como objeto de estudo e análises, ela recebe o nome de **sistema**. Em um sistema, podemos tanto verificar a presença de uma única **substância**, que, em Química, pode ser descrita como uma porção específica de matéria com composição fixa e propriedades bem definidas, quanto a presença de duas ou mais substâncias, a que damos o nome de **mistura**. Alguns exemplos de mistura são o leite, a gasolina e o etanol combustível.

Sistemas que contêm misturas podem ou não ter aspecto uniforme a olho nu. Uma amostra de leite, por exemplo, que a olho nu tem aspecto uniforme, é uma mistura considerada um **sistema heterogêneo**. Nesses sistemas, mais de uma **fase** (ou porção) está presente, cada uma apresentando as mesmas propriedades físicas e químicas em toda a sua extensão. No caso do leite, para distingui-las é necessário o auxílio de um microscópio, a fim de verificar suas interfaces, isto é, as superfícies que dividem as fases do sistema; entretanto, existem sistemas heterogêneos em que as fases podem ser observadas a olho nu. Esses sistemas também são denominados **misturas heterogêneas**.



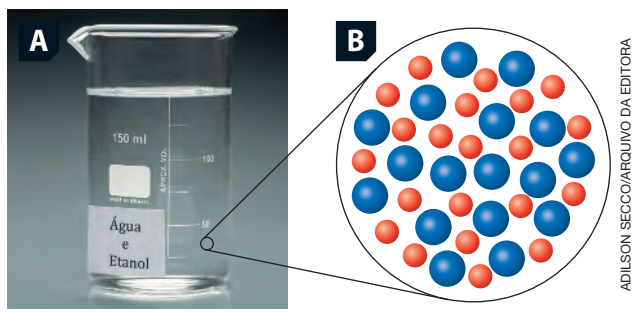
MIB PICTURES/UPPERCUT IMAGES/GETTY IMAGES

EYE OF SCIENCE/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

(A) Copo contendo leite de vaca integral. **(B)** Na ampliação, é possível observar os glóbulos de gordura presentes no leite. (Imagem obtida de microscópio de luz, colorizada artificialmente e ampliada cerca de 220 vezes).

Existem misturas que, mesmo quando observadas por meio de um microscópio de luz, apresentam apenas uma fase. Nesse caso, dizemos tratar-se de um **sistema homogêneo**. Qualquer porção desse sistema apresenta as mesmas propriedades físicas e químicas. Esses sistemas também podem ser denominados **misturas homogêneas** ou **soluções**.

Um exemplo de solução é o etanol combustível, composto principalmente de etanol e água. Nesse sistema, as moléculas estão homogeneamente dispersas, ou seja, ele só apresenta uma fase, sem interfaces que possam ser distinguidas por microscópio de luz.



FABIO YOSHIHITO MATSUURA/MOSAICO FOTOGRAFIA

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

(A) Sistema formado por uma mistura de água e etanol em um béquer. **(B)** Representação submicroscópica das moléculas de água, em vermelho, e de etanol, em azul, homogeneamente distribuídas na solução. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Propriedades das misturas

As substâncias apresentam propriedades específicas que as caracterizam. No entanto, ao se misturarem, são verificadas novas propriedades na mistura resultante. Propriedades como a densidade, as temperaturas de fusão e de ebulição e o índice de refração são particularmente úteis para caracterizar uma mistura homogênea e podem ser utilizadas para averiguar casos de adulteração.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Densidade – Uma propriedade específica

O valor da densidade (*d*) pode ser obtido dividindo o valor da massa (*m*) pelo valor do volume (*V*), e independe da quantidade de substância. A densidade é uma **propriedade intensiva** da matéria. Sua unidade de medida é, portanto, composta de uma unidade de massa (mg, g, kg etc.) dividida por uma unidade de volume (mL, cm^3, L, m^3 etc.). No Sistema Internacional de Unidades (SI), ela é expressa em kg m^{-3}, sendo muito comum que a indicação seja feita em g mL^{-1}, ou o equivalente g cm^{-3}.

Essa é uma propriedade que permite diferenciar materiais, pois duas substâncias, à mesma pressão e temperatura, não têm a mesma densidade. Por essa razão, a densidade é considerada uma **propriedade específica** de cada substância.

Conhecendo os valores de densidade dos materiais, como os presentes na tabela de densidade de alguns materiais, podemos tentar identificar a composição de amostras desconhecidas. Considere, por exemplo, que uma amostra tenha massa igual a 81 g e volume igual a 30 cm^3. Qual seria a composição mais provável dessa amostra? Por meio da razão dos valores de massa e volume da amostra obtemos 2,7 g cm^{-3}, valor associado à densidade do material alumínio. Podemos, então, levantar a hipótese que esse material é composto de alumínio.

Densidade de alguns materiais

Material	Densidade (g cm^{-3}) (a 20 °C e 1 atm)
Ouro (sólido)	19,3
Alumínio (sólido)	2,70
Água do mar (líquida)*	≃ 1,03
Ar seco (gasoso)	0,00121
Hélio (gasoso)	0,000178

* A densidade depende da composição da água do mar utilizada.

Fonte: LIDE, D. R. **CRC Handbook of Chemistry and Physics**. 78th ed. Boca Raton: CRC Press, 1997-1998.

Quando há misturas de substâncias, a densidade do sistema também assume um valor único e dependente da proporção dos componentes misturados, assim como da temperatura do sistema e da pressão do meio. O aumento da temperatura ou a redução da pressão fazem com que as partículas se afastem, resultando no aumento do volume total e, consequentemente, na diminuição da densidade.

A densidade de uma mistura homogênea pode ser determinada dividindo o valor total da massa pelo valor total do volume, considerando todos os constituintes do sistema, de acordo com a seguinte fórmula:

$$d(\text{mistura}) = \frac{\sum m}{V(\text{mistura})}$$

em que *d*(mistura) é a densidade da mistura, Σm é o somatório das massas individuais de cada componente e *V*(mistura) é o volume da mistura. É importante salientar que o volume final da solução geralmente não corresponde à soma dos volumes das substâncias puras.

A tabela a seguir apresenta alguns dados de densidade de diferentes misturas água-etanol. Note que, quanto maior a porcentagem de uma das substâncias, mais a densidade da mistura se aproxima do valor de densidade dessa substância na forma pura.

Densidade de misturas de água e etanol

Proporção em massa (água : etanol)	Densidade (g mL^{-1}) a 20 °C
100% : 0%	0,99823
90% : 10%	0,99187
70% : 30%	0,95382
50% : 50%	0,91384
30% : 70%	0,86766
10% : 90%	0,81797
0% : 100%	0,78934

Fonte: PERRY, H. *et al.* **Perry's Chemical Engineers' Handbook**. 7th ed. New York: McGraw-Hill, 1997.

Comparação da variação da densidade da solução água-etanol em relação ao percentual em massa de água e etanol.

Muitas vezes, conhecemos somente a composição percentual em volume das substâncias que compõem a mistura. Nesses casos, o valor da densidade pode ser determinado pela média aritmética ponderada dos valores individuais.

$$d(\text{mistura}) = \frac{\%(\text{água}) \cdot d(\text{água}) + \%(\text{etanol}) \cdot d(\text{etanol})}{100\%}$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Atualmente, a legislação brasileira permite que o etanol (C_2H_5OH) seja adicionado à gasolina vendida em postos de combustíveis, em uma concentração máxima de 27% em volume. A maioria dos automóveis tem motor *flex*, e, por isso, a gasolina tende a ser adulterada pela adição de etanol acima da concentração permitida, já que os riscos de danos a esses motores são menores.

Já o etanol combustível não é comercializado puro e contém um limite máximo de 4,9% em volume de água, ou seja, 4,9 partes de água em 100 partes da mistura. O restante, 95,1%, é constituído de etanol. Assim, a densidade desse combustível, nessas proporções, é dada por:

$$d(\text{mistura}) = \frac{4{,}9\% \cdot d(\text{água}) + 95{,}1\% \cdot d(\text{etanol})}{100\%}$$

$$d(\text{mistura}) = \frac{4{,}9\% \cdot 1{,}0\ \text{g mL}^{-1} + 95{,}1\% \cdot 0{,}79\ \text{g mL}^{-1}}{100\%}$$

$$\therefore d(\text{mistura}) \simeq 0{,}80\ \text{g mL}^{-1}$$

Para determinar se uma amostra desse combustível foi adulterada com adição de uma quantidade de água maior do que a permitida, podemos determinar a densidade da amostra suspeita e comparar com um valor de referência, como o que determinamos no exemplo.

Como medir experimentalmente a densidade?

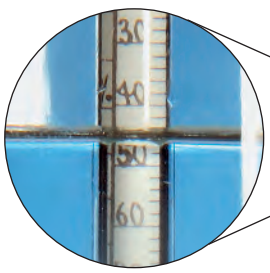
A determinação experimental da densidade pode ser realizada indiretamente, por meio da medição da massa e do volume do material, ou diretamente, utilizando instrumentos de medição específicos.

Um instrumento de laboratório utilizado para determinar a densidade de líquidos com bastante precisão é o **picnômetro**, nome de origem grega, em que *pyknós* significa "denso" e *métron*, "medir". Esse instrumento de vidro é ajustado para comportar um volume fixo e conhecido de líquido em seu interior.

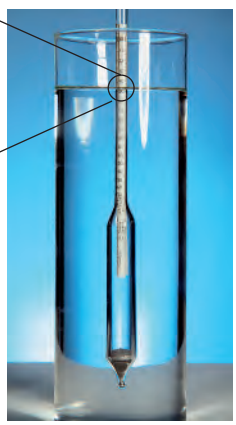
A fim de evitar alterações de volume dos instrumentos e do líquido a ser analisado, deve-se controlar a temperatura no ambiente da análise. O primeiro procedimento é a determinação da massa do picnômetro limpo e seco, em uma balança analítica. Em seguida, o instrumento é preenchido com água destilada, tampado e a porção de água que transpassa o orifício da tampa é cuidadosamente seca. A massa do conjunto é, então, medida na balança novamente, e a massa de água é determinada pela diferença entre as massas final e inicial. Como a densidade da água em diversas temperaturas pode ser consultada em livros de referência, é possível determinar o volume da água utilizado para preencher o picnômetro. Esse volume corresponde ao volume interno do picnômetro. Tal procedimento é chamado de **calibração** e tem por finalidade diminuir os erros experimentais que, no caso descrito, poderiam ocorrer se fosse empregado o volume do picnômetro indicado pelo fabricante, que varia com a temperatura, além de eventuais desgastes em decorrência do uso. Finalmente, a água é descartada e o procedimento é refeito com o líquido a ser analisado.

H. S. PHOTOS/SCIENCE SOURCE/FOTOARENA

Picnômetro preenchido com uma solução de cor azulada. É possível notar uma coluna do líquido que transpassa a abertura que existe na tampa.



Uso de um densímetro para determinação experimental da densidade de um líquido. Na ampliação, é possível observar a superfície do líquido que corresponde à posição de leitura da escala.


TED KINSMAN/SCIENCE SOURCE/FOTOARENA

Outro equipamento, o **densímetro**, também permite a determinação direta da densidade de substâncias e soluções líquidas. Esse instrumento de medição é constituído de um bulbo de vidro lacrado em que na parte inferior há chumbo, ou outro metal, e uma escala com valores de densidade na haste superior. Para a medição, o densímetro é inserido em uma proveta contendo o líquido a ser analisado e o valor da densidade é lido diretamente na escala após o densímetro se estabilizar, flutuando no líquido. A flutuabilidade do densímetro será proporcional à densidade do líquido analisado. Ou seja, quanto menor a densidade do líquido, mais o densímetro afunda, e vice-versa.

Se julgar conveniente, converse com os estudantes a respeito da diferença no nível de precisão entre uma balança analítica e o tipo de balança comumente encontrado em cozinhas.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Se achar conveniente e se houver densímetros disponíveis na escola, faça uma rápida demonstração para os estudantes, utilizando amostras de água, leite integral e leite com adição de água.

Para que o consumidor possa fiscalizar a qualidade do etanol com que abastece seu veículo, um densímetro termocompensado, como o da imagem a seguir, é acoplado às bombas de etanol nos postos de combustíveis. Caso haja mais água do que é permitido por lei, a densidade da mistura será maior do que as especificações e o densímetro será deslocado para cima, permitindo que o consumidor identifique a adulteração. Esses dispositivos são padronizados e de uso obrigatório nos postos de combustíveis. Quando a temperatura aumenta, a densidade do combustível diminui e o densímetro afunda, mas o fluido na coluna interna se dilata e sobe pelo tubo, compensando esse efeito.

A escala de um densímetro é ajustada para a leitura das unidades de densidade, geralmente, em g mL^{-1}. Entretanto, outras escalas podem ser ajustadas em função da determinação de uma característica específica. Por exemplo, os alcoômetros são densímetros em que a escala é ajustada para fornecer valores que variam de 0 a 100%, em função da concentração de etanol em água, ao passo que os lactodensímetros, ou lactômetros, têm sua escala ajustada para permitir a verificação de adulteração em amostras de leite pela adição de água.

FE REIS/FOTOARENA

Densímetro termocompensado em bomba de etanol. Se a coluna vermelha estiver acima da superfície do líquido, o etanol estará fora da especificação.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Registre em seu caderno

NA PRÁTICA Estudando a flutuação

Até agora, estudamos como a densidade pode ser determinada para líquidos puros ou constituídos por mais de um componente. Neste experimento, vamos investigar como determinar a densidade de alguns sólidos e buscar compreender se essa propriedade está relacionada ao fenômeno da flutuação. Para isso, será preciso relembrar quais propriedades são necessárias para a determinação da densidade de um material e planejar formas de determiná-las.

OBJETIVOS

- Determinar a densidade de sólidos.
- Avaliar a flutuabilidade de diferentes materiais.

MATERIAL

- Esfera de vidro (bola de gude) Ou esfera de metal
- Esfera de poliestireno expandido do mesmo diâmetro da bolinha de vidro
- Esfera de massa de modelar do mesmo diâmetro das anteriores
- Pedaço de barbante com cerca de 12 cm de comprimento
- Régua de pelo menos 15 cm
- Proveta de 250 mL Ou recipiente graduado
- Palitos de churrasco
- Balança
- Béquer de 100 mL ou 250 mL Ou copo transparente
- Água

PREPARE-SE!

- Registre em seu caderno quais são as grandezas que devem ser consideradas para que seja determinada a densidade de um material e quais são as unidades de medida que podem ser utilizadas em cada caso.
- Elabore procedimentos para medir cada uma das grandezas e registre-os em seu caderno. Se você encontrar alguma dificuldade, busque auxílio consultando diferentes fontes.

PROCEDIMENTO

É importante que os estudantes organizem os registros que devem ser feitos para os cálculos de volume. Para isso, eles podem utilizar tabelas ou anotações.

- Execute as medidas conforme o planejamento realizado anteriormente. Organize os registros de cada etapa.
- Monte um quadro para organizar os resultados obtidos para as grandezas medidas e para o cálculo das densidades. Um exemplo é dado a seguir:

Objeto estudado	Massa (g)	Volume (cm^3)	Densidade $= \frac{\text{Massa}}{\text{Volume}}$ (g/cm^3)
Esfera de vidro			
Esfera de poliestireno			
Esfera de massa de modelar			

MODELO MODELO

- Mergulhe cada uma das bolinhas estudadas na proveta com cerca de 200 mL de água. Anote suas observações no quadro. O volume de água a ser adicionado depende da volumetria da proveta ou recipiente disponível.

Continua

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

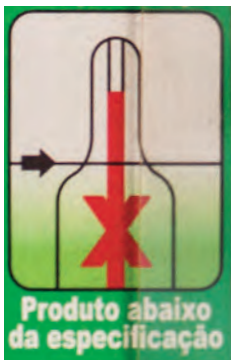
1. Considere a densidade da água como 1 g cm^{-3} (20 °C). É possível estabelecer alguma relação entre as densidades das esferas, a densidade da água e as observações feitas quando as esferas são mergulhadas na água? Por quê?
2. Considere que as mesmas esferas foram mergulhadas no mesmo volume de um líquido cinco vezes mais denso que a água. Você acha que as observações poderiam ser diferentes nesse caso? Por quê?
3. Considere que as mesmas esferas foram mergulhadas em um líquido cinquenta vezes menos denso que a água. Você acha que as observações poderiam ser diferentes nesse caso? Por quê?
4. Se, no lugar das esferas que você utilizou, você usasse esferas dos mesmos materiais, mas com diâmetros dez vezes maiores, a densidade obtida para cada uma delas seria alterada? Por quê?

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

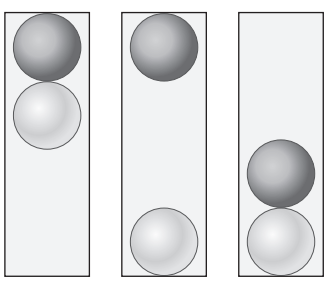
1. Suponha que em algum posto de combustíveis o densímetro esteja com a coluna vermelha acima do valor especificado, como na figura.



FE REIS/FOTOARENA

Esse resultado significa que há mais ou menos água do que o determinado pela legislação no combustível? Considere as densidades do etanol e da água pura, à temperatura ambiente, iguais a 0,80 g mL^{-1} e 1,0 g mL^{-1}, respectivamente.

2. (Enem) O controle de qualidade é uma exigência da sociedade moderna na qual os bens de consumo são produzidos em escala industrial. Nesse controle de qualidade são determinados parâmetros que permitem checar a qualidade de cada produto. O álcool combustível é um produto de amplo consumo muito adulterado, pois recebe adição de outros materiais para aumentar a margem de lucro de quem o comercializa. De acordo com a Agência Nacional de Petróleo (ANP), o álcool combustível deve ter densidade entre 0,805 g/cm^3 e 0,811 g/cm^3. Em algumas bombas de combustível a densidade do álcool pode ser verificada por meio de um densímetro similar ao desenhado abaixo, que consiste em duas bolas com valores de densidade diferentes e verifica quando o álcool está fora da faixa permitida. Na imagem, são apresentadas situações distintas para três amostras de álcool combustível. 2. Alternativa **d**.


LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

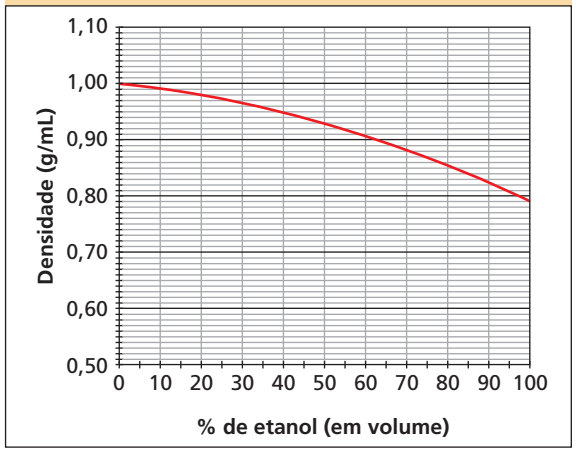
Amostra 1 Amostra 2 Amostra 3

A respeito das amostras ou do densímetro, pode-se afirmar que

a. a densidade da bola escura deve ser igual a 0,811 g/cm^3.
b. a amostra 1 possui densidade menor do que a permitida.
c. a bola clara tem densidade igual à densidade da bola escura.
d. a amostra que está dentro do padrão estabelecido é a de número 2.
e. o sistema poderia ser feito com uma única bola de densidade entre 0,805 g/cm^3 e 0,811 g/cm^3.

3. A mistura de água e álcool sempre será homogênea, pois se trata de líquidos miscíveis em quaisquer proporções. A densidade da mistura obtida, porém, varia conforme sua composição, conforme demonstra o gráfico (temperatura fixa em 20 °C).

Densidade da mistura água-etanol em função da % de etanol



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em HAYNES, W. M. (ed.). **CRC Handbook of Chemistry and Physics**. 95th ed. London: CRC Press, 2014.

Representação gráfica da variação da densidade da solução água-etanol em função do percentual de etanol (em volume).

Analisando o gráfico, pode-se concluir que uma amostra de 194 g e volume de 200 mL (a 20 °C) deve apresentar qual porcentagem de água?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Diluição e medidas de concentração

Em uma solução, a substância presente em maior quantidade é chamada **solvente**, enquanto a substância que está em menor quantidade na mistura é denominada **soluto**. Entretanto, quando um dos líquidos é a água, por convenção, ela é considerada solvente, independentemente de sua proporção na mistura. A **concentração** de uma solução é o parâmetro usado para representar quantitativamente a composição química do sistema. Em outras palavras, a concentração descreve a proporção em que soluto e solvente estão misturados.

Algumas formas de representar essas proporções são a **concentração em massa** (ρ), a **porcentagem em massa** ($\%_{m/m}$), o **título em massa** (τ) e a **concentração em quantidade de substância** (c). Contudo, outras medidas de concentração podem ser utilizadas, como partes por milhão (ppm) ou partes por bilhão (ppb), e serão estudadas adiante.

Enfatize que é possível encontrar, em outras referências, a representação da concentração em massa com a letra *C* maiúscula. Nesta obra, optamos por utilizar a simbologia recomendada pela IUPAC.

As diferenças nas proporções entre o solvente e o soluto resultam em alterações nas propriedades físico-químicas das soluções. O índice de refração de uma solução, por exemplo, varia proporcionalmente à concentração em massa, de modo que a composição da mistura pode ser estimada com base em tabelas de referência. A **refratometria** tem sido muito utilizada em testes de qualidade de alimentos, bebidas e combustíveis.

Diluição de soluções

Diluir uma solução, em termos práticos, consiste em adicionar uma quantidade de solvente a uma solução sem alterar a quantidade de soluto. Esse procedimento permite a obtenção de soluções de concentração mais baixa a partir de soluções previamente preparadas, denominadas **solução-estoque**.

A adulteração do leite por adição de água é um exemplo de diluição. Vamos supor que a uma amostra de 100 mL de leite contendo 4,5 g L^{-1} de glicídios foram adicionados 400 mL de água. A concentração desses glicídios diminui ao passo que o volume do sistema aumenta. Para determinar a concentração em massa após a adição de solvente, precisamos verificar a massa de soluto na amostra de leite antes da diluição.

Como estudamos, a densidade relaciona a massa total do sistema e o volume ocupado por ele. Já a concentração em massa de uma solução (ρ) indica a massa do soluto que está presente em dado volume de solução. Note que as unidades de medida para a concentração em massa são as mesmas utilizadas para expressar a densidade. Entretanto, essas grandezas são diferentes.

Se julgar conveniente, explore a composição do leite para diferenciar solução, dispersão coloidal e suspensão. No leite, a água forma uma solução com os minerais e a lactose, e, com as proteínas e as gorduras, uma dispersão coloidal.

Massa de soluto		**Volume da solução**
4,5 g	———	1.000 mL
m(soluto)	———	100 mL

$$m(\text{soluto}) = \frac{4{,}5\ \text{g} \cdot 100\ \text{mL}}{1.000\ \text{mL}} = 0{,}45\ \text{g}$$

Em seguida, determinamos o valor da concentração em massa para o volume final da solução. Desprezando a contração de volume após a diluição, temos:

$$\rho = \frac{m(\text{soluto})}{V(\text{solução})} = \frac{0{,}45\ \text{g}}{0{,}500\ \text{L}}$$

$$\therefore \rho = 0{,}90\ \text{g L}^{-1}$$

Como a massa do soluto permanece a mesma, os cálculos apresentados podem ser resumidos na seguinte relação: m(soluto na solução-estoque) = m(soluto na solução final)

Dado que $m = \rho V$, temos:

$$\rho(\text{solução-estoque}) \cdot V(\text{solução-estoque}) = \rho(\text{solução final}) \cdot V(\text{solução final})$$

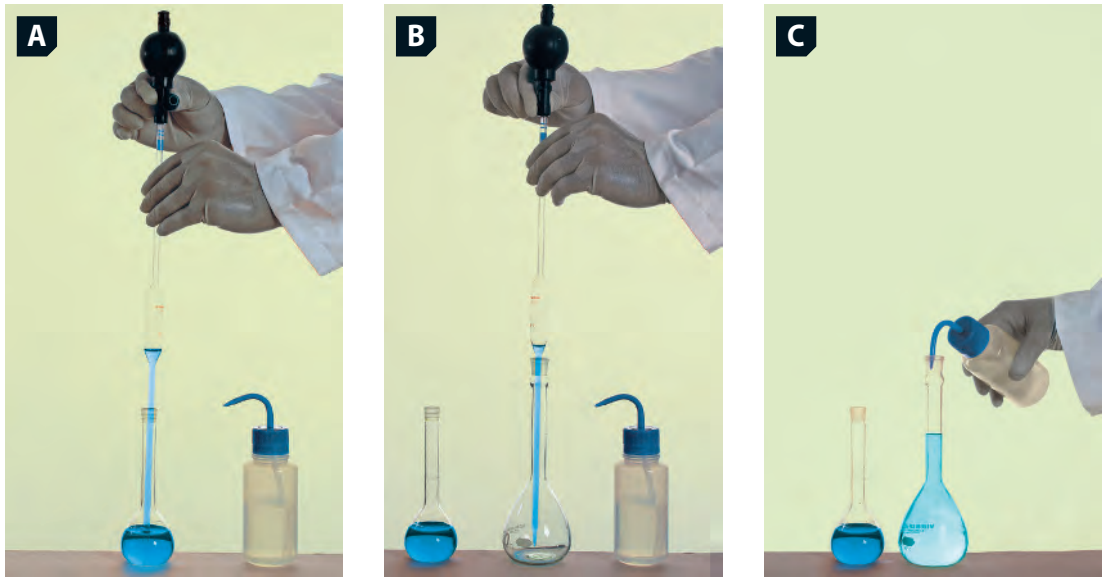
Retomando o exemplo, os cálculos podem ser representados da seguinte forma:

$$4{,}5\ \text{g L}^{-1} \cdot 0{,}1\ \text{L} = \rho(\text{solução final}) \cdot 0{,}5\ \text{L}$$

$$\therefore \rho(\text{solução final}) = 0{,}90\ \text{g L}^{-1}$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Nos laboratórios, o procedimento de diluição é realizado com o auxílio de instrumentos de medição bastante precisos, como os mostrados a seguir.



FOTOS: DOTTA2/ARQUIVO DA EDITORA

Etapas do procedimento de diluição de uma solução aquosa de sulfato de cobre(II) ($CuSO_4$). **(A)** Com uma pipeta volumétrica, retira-se uma alíquota da solução-estoque. **(B)** Transfere-se a alíquota para um balão volumétrico. **(C)** Preenche-se o balão volumétrico com água até a marca de referência. Após a diluição, é possível perceber que a solução de sulfato de cobre(II) apresenta uma coloração mais clara, o que indica que a mesma massa de soluto presente na alíquota está dissolvida em um volume maior de solvente.

Concentração em partes por milhão e partes por bilhão

Entre os anos 1998 e 2014, a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) determinou a redução gradual da quantidade de enxofre na gasolina como uma das formas de controle de emissão de poluentes. A quantidade máxima de enxofre permitida na gasolina era de 1.500 mg kg^{-1}; atualmente, só é permitida a comercialização desse combustível com concentração máxima de enxofre de 50 mg kg^{-1}.

Sabendo que 1 kg equivale a 1.000.000 mg, ou 10^6 mg, uma forma de representar a concentração máxima permitida de enxofre na gasolina seria 50 mg $(10^6 \text{ mg})^{-1}$, que corresponde a 50 **partes por milhão**, denotado por 50 **ppm**.

Suponha que uma amostra de 150 g de gasolina tenha apresentado 12 mg de enxofre. Para verificar se essa amostra está de acordo com as especificações da ANP, podemos calcular a quantidade, em mg, de enxofre que, proporcionalmente, estaria presente em 1.000.000 mg do combustível.

Massa de soluto		**Massa da solução**
12 mg	———	150.000 mg
m(soluto)	———	1.000.000 mg
m(soluto)		100 mL

$$m(\text{soluto}) = \frac{12 \text{ mg} \cdot 1.000.000 \text{ mg}}{150.000 \text{ mg}} = 80 \text{ mg}$$

Logo, a concentração de enxofre é 80 ppm. Note que a amostra analisada não atende à especificação.

Vale ressaltar que, apesar de amplamente utilizada, essa abreviação para especificar uma unidade de medida é desaconselhada pela União Internacional de Química Pura e Aplicada (*International Union of Pure and Applied Chemistry*, IUPAC). A justificativa é que, por vezes, essa unidade de medida se refere ao volume ou às partículas da mistura, e não à massa, como no exemplo, podendo causar má interpretação de um dado apresentado com essa simbologia.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Registre em seu caderno

EM FOCO Bactérias ajudam a tratar água utilizada por refinarias de petróleo

ODS 6

ODS 11

As refinarias de petróleo usam grande quantidade de água em um processo industrial denominado craqueamento catalítico, que visa aumentar o rendimento de produtos como gasolina e gás liquefeito de petróleo (GLP), por meio da conversão de frações pesadas provenientes da destilação do petróleo em frações mais leves e de maior interesse comercial.

Por ter alta concentração de contaminantes tóxicos, como fenóis, gases sulfídrico e cianídrico, além de amônia, hidrocarbonetos e mercaptanos, esse efluente industrial – chamado de "água ácida" – não pode ser destinado diretamente para tratamento e precisa ser estocado pelas refinarias para a remoção da amônia e de sulfetos antes de ser descartado.

"As concentrações de contaminantes tóxicos nesse efluente industrial podem variar de 100 a 1.000 ppm [*partes por milhão*]. Se essa água residual for enviada diretamente para uma lagoa de tratamento, pode causar graves problemas ambientais", disse Elen Aquino Perpetuo, professora do Instituto do Mar da Universidade Federal de São Paulo (Unifesp) [...]

Os cientistas identificaram duas bactérias – a *Achromobacter* sp. e a *Pandoraea* sp. – capazes de reduzir a concentração de contaminação da "água ácida" para níveis aceitáveis e permitir lançá-la no ambiente ou reutilizá-la em processos industriais nas refinarias.

[...]

Ao deixar uma solução de fenol com 500 ppm exposta em uma área de processos ao ar livre do Cepema [Centro de Capacitação e Pesquisa em Meio Ambiente], os pesquisadores perceberam que dias depois a solução começou a turvar – sinal de crescimento celular.

"Como só tinha fenol como fonte de carbono na solução, percebemos que microrganismos estavam degradando o composto", disse Perpetuo. "Posteriormente, começamos a isolar as bactérias e a inoculá-las em diferentes concentrações de poluentes para verificar quem resistia mais à presença de fenóis. E constatamos que a *Achromobacter* sp. e a *Pandoraea* sp. eram mais eficientes na degradação do composto."

[...] a biorremediação – como é chamado o uso de microrganismos para transformação biológica de produtos químicos indesejáveis, [...] – é reconhecida como uma das soluções de mais baixo custo para a limpeza de água e solos contaminados. [...]

Fonte: ALISSON, E. Bactérias ajudam a tratar água utilizada por refinarias de petróleo. **Agência Fapesp**, São Paulo, 13 nov. 2014. Disponível em: https://agencia.fapesp.br/bacterias-ajudam-a-tratar-agua-utilizada-por-refinarias-de-petroleo/20227. Acesso em: 23 ago. 2024.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

1. Com relação ao que diz o texto, é correto afirmar: 1. Alternativa **d.**

- **a.** A "água ácida", efluente das refinarias de petróleo, deve ser diretamente encaminhada para uma lagoa de tratamento, onde será transformada em água potável.
- **b.** As bactérias, como *Achromobacter* sp. e a *Pandoraea* sp., uma vez adicionadas às águas ácidas, fariam com que esses corpos d'água ficassem ainda mais poluídos, visto que bactérias são causadoras de doenças.
- **c.** A biorremediação no tratamento da água ácida se mostrou eficaz, mas impeditiva devido ao seu alto custo.
- **d.** A ação de bactérias na remoção de poluentes já era conhecida, mas a atividade da *Achromobacter* sp. foi impressionantemente alta, o que chamou a atenção dos cientistas para a possibilidade de seu uso em larga escala na biorremediação da água ácida.

2. Segundo o texto, que fato levou os cientistas a investigarem bactérias para o tratamento de efluentes da refinaria de petróleo?

3. Qual é a concentração do fenol expressa em quantidade de substância (mol L^{-1}), sabendo que a concentração de fenol na água ácida é 500 ppm? Considere: 500 ppm como sendo uma relação massa/massa; massa molar do fenol = 94 g mol^{-1}; Densidade da água ácida $\simeq$ 1,0 g mL^{-1}.

Concentração em °GL e °INPM

Para as soluções de etanol em água, existem medidas de concentração específicas, mas que estão baseadas naquelas geralmente usadas no estudo das soluções.

Essa medida de concentração é determinada com base na **fração volúmica** (φ) de soluto no sistema.

$$\varphi = \frac{V(\text{soluto})}{V(\text{soluto}) + V(\text{solvente})}$$

A concentração em grau GL (°GL) tem origem nos trabalhos do químico francês Joseph Louis Gay-Lussac (1778-1850). Ela corresponde à fração volúmica multiplicada por 100%. No caso da mistura etanol-água, indica a porcentagem em volume de etanol na solução, ou seja, a graduação alcoólica. Por exemplo, as soluções de etanol 70%, em volume, podem também ser classificadas como soluções 70 °GL.

Já a concentração em grau INPM (°INPM) refere-se ao Instituto Nacional de Pesos e Medidas, atual Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro). Essa medida de concentração indica a porcentagem em massa do soluto na solução e, portanto, relaciona-se com a **fração mássica** de etanol anidro no sistema. A fração mássica é calculada de forma análoga à fração volúmica. Para isso, em vez de volume utilizam-se as massas dos componentes da mistura.

Como as densidades da água e do etanol são diferentes, a quantidade de etanol em uma solução 70 °INPM é diferente da de uma solução 70 °GL. Para transformar °GL em °INPM basta multiplicar os volumes na expressão da fração volúmica pela densidade das substâncias. Assim, tomando como exemplo 100 mL de solução, temos:

$$70\ °\text{GL} = \frac{70\ \text{mL de etanol}}{30\ \text{mL de água} + 70\ \text{mL de etanol}} \cdot 100$$

$$x = \frac{70\ \text{mL} \cdot 0{,}79\ \text{g mL}^{-1}}{30\ \text{mL} \cdot 1{,}00\ \text{g mL}^{-1} + 70\ \text{mL} \cdot 0{,}79\ \text{g mL}^{-1}} \cdot 100$$

$$x = \frac{55{,}3\ \text{g}}{300\ \text{g} + 55{,}3\ \text{g}} \cdot 100$$

$$\therefore x \simeq 64{,}8\ °\text{INPM}$$

Logo, uma solução aquosa de etanol 70% equivale a uma mistura 70 °GL ou 64,8 °INPM.

Em 2020, nos meses iniciais da pandemia do coronavírus SARS-CoV-2, houve aumento na demanda de etanol ou álcool etílico líquido e em gel na concentração 70% em volume, desencadeando a escassez desses produtos. Nesse contexto foi constatado um aumento nos casos de adulteração desse e de outros saneantes.

Molalidade

Informe aos estudantes que é possível encontrar em outras referências a representação da molalidade com a letra *W* maiúscula. Os símbolos recomendados pela IUPAC, no entanto, são a letra *m* ou a letra *b* minúsculas. Nesta obra, adotamos a simbologia da IUPAC e preferimos utilizar *b* para não haver confusão com o símbolo de massa.

A relação entre a quantidade de substância de um soluto e a massa de um solvente, em quilograma, é denominada **molalidade** (*b*). Essa unidade de concentração costuma ser a escolhida quando uma solução vai ser utilizada em diferentes temperaturas. Isso porque a massa, ao contrário do volume, não se altera com a pressão e a temperatura. Outra vantagem é que a molalidade de um componente permanece inalterada após a adição ou a remoção de outros solutos.

Considere o preparo de uma solução pela adição de 10 g de cloreto de potássio, KCℓ ($M = 74{,}5\ \text{g mol}^{-1}$), em 100 g de água. Para calcular a molalidade dessa solução, primeiro é necessário calcular a quantidade de substância (*n*) de soluto presente em 10 g de KCℓ:

$$n(\text{KC}\ell) = \frac{m(\text{KC}\ell)}{M(\text{KC}\ell)} = \frac{10\ \text{g}}{74{,}5\ \text{g mol}^{-1}}$$

$$\therefore n(\text{KC}\ell) \simeq 0{,}134\ \text{mol}$$

Em seguida, calcula-se a molalidade a partir da quantidade de substância de soluto e da massa de solvente:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 100\ \text{g} = 0{,}1\ \text{kg}$$

$$b = \frac{n(\text{H}_2\text{O})}{m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{0{,}134\ \text{mol}}{0{,}1\ \text{kg}}$$

$$\therefore b = 1{,}34\ \text{mol kg}^{-1}$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

4. Pode-se determinar o teor alcoólico do vinho por meio do processo de destilação. Considere que a partir dessa destilação foram obtidos 17,5 mL de etanol. Considerando que o resíduo aquoso da destilação apresentou um volume de 130 mL, calcule o teor alcoólico do vinho em graus GL (porcentagem volumétrica).

5. Uma amostra de água de um rio poluído continha 5 μg de mercúrio para cada litro de água. Quanto isso representa em ppm (massa/massa)?

Dados: 1 μg = 10^{-6} g; densidade da água = 1,0 g mL^{-1}.

6. Para preparar uma solução-estoque de hidróxido de sódio, NaOH, dissolveu-se 4 g dessa base em água, obtendo-se um volume final de 100 mL. Posteriormente, certo volume dessa solução-estoque foi diluído para 200 mL, obtendo-se uma nova solução com concentração de 0,15 mol L^{-1}. Qual foi o volume de solução-estoque utilizado na diluição?

Dados (g mol^{-1}): H = 1; O = 16; Na = 23.

Efeitos crioscópico e ebulioscópico

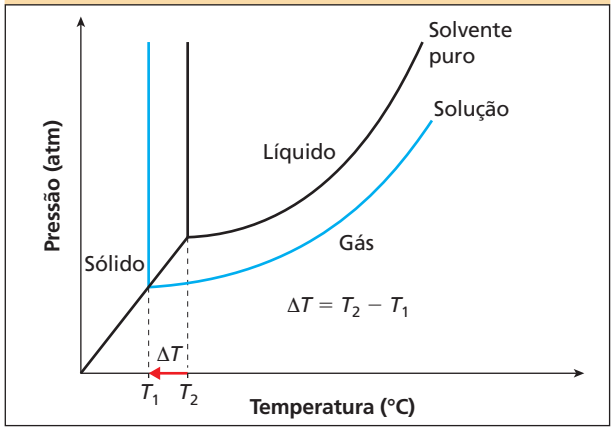
Algumas propriedades físico-químicas das soluções são influenciadas pela concentração dos solutos não voláteis – aqueles que não evaporam rapidamente – independentemente de sua natureza química. Essas propriedades são denominadas **propriedades coligativas**. Duas delas, o efeito tonoscópico e a osmose, são estudadas no capítulo 10. Agora, estudaremos outras duas.

O **efeito crioscópico,** ou crioscopia, é caracterizado pela redução da temperatura de fusão ou de congelamento da solução em comparação ao solvente em decorrência da presença de um soluto, miscível e não volátil, misturado a ele. No diagrama apresentado, pode-se observar o padrão de variação da pressão de vapor em função da temperatura. Em um recipiente fechado, a **pressão de vapor** corresponde à pressão exercida pelo solvente no estado gasoso sobre a superfície do líquido. As curvas indicam as condições de pressão e temperatura em que duas fases coexistem em equilíbrio dinâmico.

Fonte: BROWN, T. L. *et al*. **Química**: a ciência central. 13. ed. Tradução: Eloiza Lopes, Tiago Jonas e Sonia M. Yamamoto. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2016.

Diagrama de fases comparando um solvente puro e uma solução, evidenciando a diferença das curvas de transição de fases.

Diagrama de fases de um solvente puro e de uma solução



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Note que a mudança de fase de um solvente puro de líquida para sólida acontece a uma temperatura T_2. Ao adicionar um soluto não volátil ao solvente, a solução resultante apresenta temperatura de solidificação menor (T_1). Isso acontece porque a solução apresenta pressão de vapor menor que a do solvente puro.

Essa diferença entre as temperaturas de solidificação verificada nas soluções é proporcional à molalidade dos solutos presentes no sistema. Assim:

$$\Delta T = K_c b i,$$

em que ΔT = variação da temperatura de solidificação ou índice crioscópico, K_c = constante crioscópica (específica para cada solvente), b = molalidade, i = fator de Van't Hoff (número de partículas por fórmula de soluto após a dissolução).

Como a magnitude de ΔT depende de i, solutos na mesma molalidade podem ter efeitos diferentes. Por exemplo, a diminuição da temperatura de solidificação por substâncias moleculares que não se ionizam em água, como a lactose ($i = 1$), é menor que a observada no caso de substâncias iônicas, como o cloreto de potássio ($i = 2$).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O índice crioscópico é útil na detecção de adulterações do leite por adição de água. Isso porque a temperatura de solidificação máxima do leite aceita pela legislação brasileira é de –0,512 °C, inferior à da água por causa da composição do produto (presença de glicídios, lipídios, proteínas e minerais). O leite bovino apresenta composição variável de acordo com a raça do gado leiteiro, a região, o tipo de manejo etc. Contudo, essas diferenças não causam alterações significativas na temperatura de solidificação do leite.

Ao adicionar água ao leite, a temperatura de solidificação tende a se elevar para valores mais próximos ao da temperatura de transição de fase da água, 0 °C. Nos laticínios, o teste é realizado por meio de um crioscópio, equipamento que conta com um termômetro bastante sensível e que permite analisar uma amostra em poucos minutos.

Outra propriedade influenciada pela presença de um soluto não volátil em solução é a temperatura de ebulição. Nesse contexto, sabemos que, para uma substância atingir a ebulição, sua pressão de vapor deve se igualar à pressão atmosférica a certa temperatura. Por isso, quanto maior for sua pressão de vapor, mais facilmente a substância evaporará, ou, ainda, menor será a temperatura de ebulição.

Como mostra o diagrama de fases, a adição de um soluto não volátil diminui a pressão de vapor do solvente, ocasionando a elevação da temperatura de ebulição da solução em relação à substância pura. Esse fenômeno é denominado **efeito ebulioscópico**, e a variação de temperatura de ebulição de uma mistura pode ser estimada de acordo com a seguinte expressão:

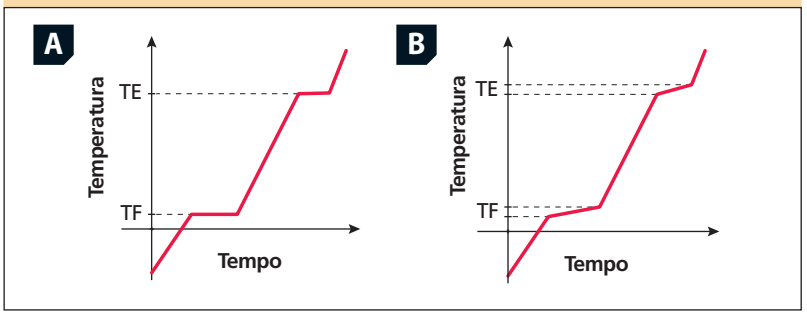
$$\Delta T = K_e bi$$

em que K_e é a constante ebulioscópica (específica para cada solvente) e os demais parâmetros são equivalentes à expressão do índice crioscópico.

Outra maneira de diferenciar uma mistura homogênea de uma substância é observar a **curva de aquecimento** (ou resfriamento) de cada um desses sistemas.

As substâncias apresentam temperaturas de fusão e de ebulição bem definidas, ou seja, na curva de aquecimento das substâncias há dois patamares horizontais que correspondem às etapas de mudança de estado físico. Entretanto, durante o aquecimento de uma mistura homogênea, observa-se que as temperaturas de fusão (TF) e/ou de ebulição (TE) variam dentro de um intervalo. Os gráficos a seguir ilustram, de forma genérica, o perfil de variação da temperatura do sistema em função do tempo durante o aquecimento de uma substância e de uma mistura.

Curvas de aquecimento de uma substância e de uma mistura



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: BROWN, T. L. *et al*. **Química**: a ciência central. 13. ed. Tradução: Eloiza Lopes, Tiago Jonas, Sonia M. Yamamoto. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2016.

Representação gráfica das curvas de aquecimento de uma substância **(A)** e de uma mistura **(B)**.

No entanto, a diferenciação entre substâncias e misturas homogêneas por meio da análise das curvas de aquecimento nem sempre é possível. Os gráficos mostrados são teóricos. Em curvas de aquecimento reais, determinadas em laboratório, os patamares de mudança de estado físico podem não ser tão nítidos, por limitações do equipamento ou do operador. Além disso, existem misturas homogêneas que apresentam temperatura de fusão constante (embora com variações na temperatura de ebulição), denominadas **misturas eutéticas**. Já as **misturas azeotrópicas** apresentam apenas a temperatura de ebulição constante.

Enfatize que as curvas de aquecimento apresentadas ilustram o comportamento genérico de misturas e substâncias, e não correspondem a nenhum material real.

O etanol combustível é um exemplo de mistura azeotrópica que apresenta temperatura de ebulição constante de 78 °C, a 1 atm. Na concentração de 95% de etanol, a mistura azeotrópica formada impede que o etanol seja separado da água por destilação (técnica que envolve os processos de evaporação e condensação).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

7. (Uespi) Em países frios, é comum a utilização de água e etilenoglicol no radiador de carros para evitar o congelamento do líquido. Esta mistura pode baixar a temperatura de congelamento até −35 °C (a água pura congela a 0 °C). Esta característica se deve ao fato de que: 7. Alternativa **a**.

a. a temperatura de início de congelamento do solvente de uma solução (água + etilenoglicol) é menor que a temperatura de início de congelamento do solvente puro (água).

b. o etilenoglicol reage com a água liberando energia que irá aquecer o radiador.

c. o etilenoglicol cria uma camada protetora no radiador, impedindo a perda de calor no sistema.

d. quanto menor a concentração da solução, menor será a temperatura de início do congelamento.

e. o composto formado nesta reação, o etilenoglicol hidratado, possui menor ponto de fusão.

8. Em um experimento, um químico aqueceu até a ebulição três amostras de água coletadas durante suas viagens de férias e fez o registro da temperatura de ebulição em um quadro.

Local da amostra coletada	Temperatura de ebulição
Fonte de água mineral de Nova Prata, RS	TE_i
Mar Morto, Jordânia	TE_{ii}
Praia de Ipanema, RJ	TE_{iii}

Sabendo que as águas do mar Morto apresentam cerca de 10 vezes mais sal dissolvido na água do que as águas salgadas de outras partes do mundo, e que a concentração de sal na água mineral é desprezível, escreva em ordem crescente os valores de temperatura de ebulição das amostras. Justifique.

Determinando a concentração de uma amostra por titulação

A titulação é um procedimento laboratorial utilizado para determinar a concentração de uma solução com base na estequiometria da equação química que descreve uma determinada transformação.

Essa técnica é útil na indicação da qualidade de bebidas fermentadas, como o vinho; de alimentos, como o leite e os óleos vegetais; de combustíveis, como o biodiesel e até mesmo da água que abastece nossa casa. Em todos esses exemplos, alterações na concentração de solutos específicos são indícios de deterioração ou adulteração do produto.

A fim de compreender melhor essa técnica, vamos entender como podemos prever as quantidades das substâncias que participam das reações químicas.

As quantidades teóricas dessas substâncias são indicadas pelos coeficientes estequiométricos nas equações químicas balanceadas. Observe a seguir algumas relações que podem ser estabelecidas a partir da equação química que representa a reação de neutralização do ácido sulfúrico, H_2SO_4 ($M = 98\ g\ mol^{-1}$), pelo hidróxido de sódio, NaOH ($M = 40\ g\ mol^{-1}$). Nessa reação formam-se sulfato de sódio, Na_2SO_4 ($M = 142\ g\ mol^{-1}$), e água, H_2O ($M = 18\ g\ mol^{-1}$).

$$\underset{\text{1 mol}}{H_2SO_4(aq)} + \underset{\text{2 mol}}{2\ NaOH(aq)} \rightarrow \underset{\text{1 mol}}{Na_2SO_4(aq)} + \underset{\text{2 mol}}{2\ H_2O(\ell)}$$
$$\text{98 g} \qquad\qquad \text{80 g} \qquad\qquad \text{142 g} \qquad\qquad \text{36 g}$$

A proporção estequiométrica da equação química é **1** (H_2SO_4) : **2** (NaOH) : **1** (Na_2SO_4) : **2** (H_2O).

Analisando a equação química balanceada e as relações estabelecidas, podemos calcular, por exemplo, a quantidade de substância, em mol, de Na_2SO_4 obtida após a evaporação da água na reação de apenas 60 g de NaOH:

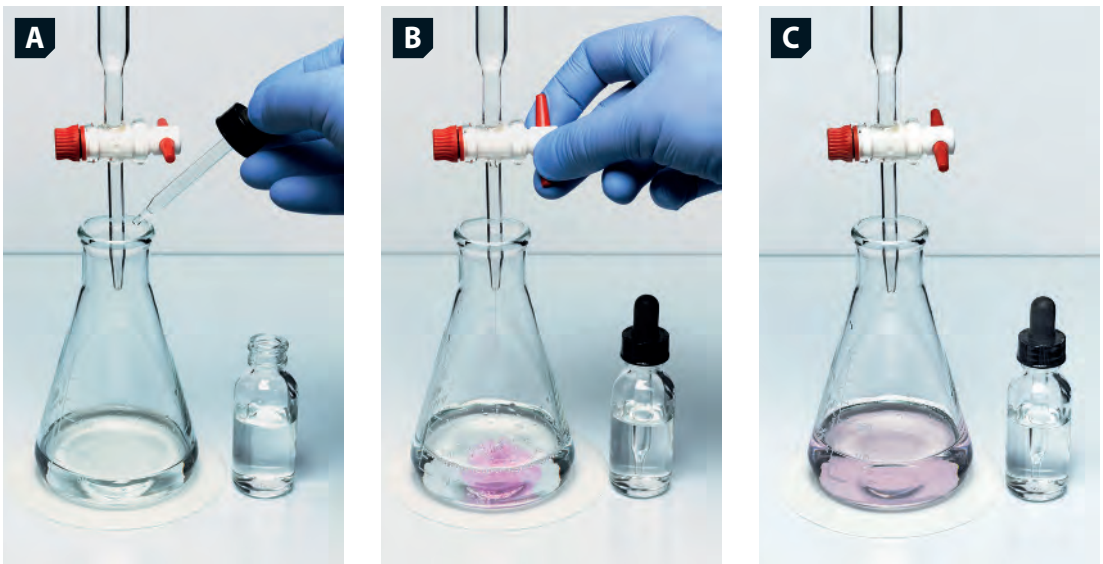
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Massa de NaOH		Quantidade de substância de Na_2SO_4
80 g	———	1 mol
60 g	———	$n(Na_2SO_4)$

$$n(Na_2SO_4) = \frac{60\ g \cdot 1\ mol}{80\ g} = 0{,}75\ mol$$

Imagine que, em um laboratório, haja uma solução aquosa de ácido sulfúrico de concentração desconhecida. Para determinar essa concentração, um técnico de laboratório vai empregar a técnica de titulação.

Nesse processo, ilustrado a seguir, um volume conhecido da solução da qual se quer determinar a concentração é colocado em um erlenmeyer. A solução contendo o analito é o **titulado**. Uma bureta é completamente preenchida com uma solução padronizada, ou seja, de concentração conhecida, denominada **titulante**. Nesse caso, trata-se de uma solução de NaOH. O titulante é gotejado até que todo o analito tenha reagido.



FOTOS: TURTLE ROCK SCIENTIFIC/SCIENCE SOURCE/FOTOARENA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Sequência de fotos mostrando uma titulação. **(A)** No início do procedimento, são adicionadas algumas gotas de solução alcoólica de fenolftaleína ($C_{20}H_{14}O_4$), um indicador ácido-base, a um volume conhecido do titulado. **(B)** A solução-padrão é despejada da bureta gota a gota. À medida que se aproxima do ponto de viragem, uma coloração rosa-claro é observada onde a gota cai, mas desaparece sob agitação do erlenmeyer. **(C)** No ponto de viragem, uma coloração rosada persistente se estende por toda a solução, indicando o fim da análise.

Para que esse procedimento seja corretamente executado é preciso conhecer a estequiometria da reação e que seu rendimento seja 100%. Contudo, como avaliar se a reação se completou ou não? Nas titulações são adicionadas pequenas quantidades de substâncias conhecidas como **indicadores**. Essas substâncias mudam de cor e auxiliam o analista a detectar quando o procedimento deve ser interrompido. Escolhido o indicador adequado, o ponto final da titulação ocorrerá próximo ao **ponto de equivalência**, que é quando o volume de titulante adicionado contém a quantidade de substância necessária para reagir com todo o titulado. Como são adicionados em pequenas quantidades – algumas gotas ou poucos miligramas –, os indicadores não interferem na concentração das soluções.

O cálculo da concentração da solução do analito é feito considerando o volume do titulante utilizado durante a análise. Por essa razão, as titulações também são conhecidas como análises volumétricas ou volumetrias. No exemplo estudado, temos uma **volumetria de neutralização**.

Considere que na titulação de 20,0 mL da solução aquosa de ácido sulfúrico tenham sido utilizados 8,0 mL de uma solução aquosa de NaOH 6,0 mol L^{-1}. Nesse caso, qual deve ser a concentração em quantidade de substância da solução de ácido sulfúrico?

O primeiro passo é determinar a quantidade de substância de NaOH adicionada ao erlenmeyer, por meio da concentração e do volume de titulante utilizado. Como $n = cV$, temos:

$$n(\text{NaOH}) = 0{,}0080\ \text{L} \cdot 6{,}0\ \text{mol L}^{-1} = 0{,}048\ \text{mol}$$

Com base na estequiometria dessa neutralização, podemos afirmar que a quantidade, em mol, do ácido equivale à metade da quantidade, em mol, da base. Assim:

$$n(H_2SO_4) = n(\text{NaOH}) \cdot \frac{1}{2}$$

$$n(H_2SO_4) = 0{,}048\ \text{mol} \cdot \frac{1}{2}$$

$$\therefore n(H_2SO_4) = 0{,}024\ \text{mol}$$

Por fim, a concentração em quantidade de substância da solução desse ácido é dada por:

$$c = \frac{n(H_2SO_4)}{V(\text{solução})} = \frac{0{,}024\ \text{mol}}{0{,}0200\ \text{L}}$$

$$\therefore c = 1{,}2\ \text{mol L}^{-1}$$

Os cálculos envolvendo as observações experimentais de uma titulação podem ser resumidos à igualdade:

$$n(\text{analito}) = n(\text{titulante}) \cdot \text{razão molar}$$

A **razão molar** é determinada por meio dos coeficientes estequiométricos obtidos na equação química da reação em questão:

$$\text{razão molar} = \frac{\text{coeficiente estequiométrico do titulante}}{\text{coeficiente estequiométrico do analito}}$$

Nas volumetrias, a escolha do titulante baseia-se nas características do titulado. Produtos de limpeza e tinturas de cabelo contêm hidróxido de amônio (NH_4OH) em sua composição. Uma das etapas do controle de qualidade desses produtos envolve a titulação de soluções desses materiais com a finalidade de determinar se a concentração do hidróxido está de acordo com as normas sanitárias vigentes. Nesses casos, o titulante é uma solução aquosa de ácido clorídrico ($HC\ell$), por exemplo.

Muitas vezes, em uma volumetria de neutralização, equipamentos chamados pHmetros, como o da imagem a seguir, são utilizados para monitorar as reações. Esses equipamentos indicam o valor do pH (potencial hidrogeniônico) do titulado durante todo o processo e permitem determinar com exatidão o ponto de equivalência. Como o cálculo da concentração envolve a variação do pH, a técnica é conhecida como **titulação potenciométrica**.

MARTYN F. CHILLMAID/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

Montagem de um equipamento para titulações potenciométricas. Para evitar danos ao eletrodo de pH, o titulado é mantido em agitação por uma barra magnética no interior do béquer, movimentada por um agitador. Na imagem, o equipamento indica pH = 3,97, temperatura da solução = 18,0 °C e número de medidas salvas na memória = 6.

O pH informa a concentração em quantidade de substância de íons H^+ em solução por meio de uma escala logarítmica que varia de 0 a 14 a 25 °C, cobrindo uma faixa de concentração de íons H^+ entre $1{,}0 \cdot 10^0$ mol L^{-1} e $1{,}0 \cdot 10^{14}$ mol L^{-1}.

O uso de um pHmetro é útil quando a coloração da solução do analito não permite uma correta visualização da mudança de cor do indicador. Isso ocorre, por exemplo, quando se determina a acidez ou a presença de antioxidantes na titulação de uma amostra de vinho. Nos vinhos adulterados ou fora da validade, os valores associados a essas características são discrepantes.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

As reações de neutralização não são as únicas que podem ser empregadas nas análises volumétricas. O processo também é válido para as reações químicas que formam compostos de baixa solubilidade. Quando o analito reage formando um precipitado, o procedimento é denominado **volumetria de precipitação**.

Podemos determinar a concentração de íons cloreto ($C\ell^-$) na água de abastecimento, por exemplo, por meio dessa técnica. Concentrações abaixo dos limites legais podem indicar um comprometimento na desinfecção da água. Caso estejam acima desses limites, o produto chega à nossa casa com odor e sabor característicos do cloro residual.

Nessas análises, uma solução aquosa de nitrato de prata ($AgNO_3$) é o titulante. Na reação, forma-se cloreto de prata ($AgC\ell$), um composto insolúvel em água, que forma um precipitado branco. O indicador, nesse caso, é o cromato de potássio (K_2CrO_4), e o sistema é mantido em pH $\geq$ 7. No ponto de equivalência, quando a precipitação do cloreto de prata se completa, o excesso de íons Ag^+ reage com o indicador, formando um precipitado vermelho-tijolo de cromato de prata (Ag_2CrO_4). Esse método foi descrito pela primeira vez, em 1865, pelo químico-farmacêutico alemão Karl F. Mohr (1806-1879), e até hoje é conhecido como o método de Mohr.

É possível verificar a adulteração de amostras de leite com peróxido de hidrogênio (H_2O_2), um conservante, por meio da titulação com uma solução aquosa de permanganato de potássio ($KMnO_4$) em meio ácido, por exemplo. A equação química que representa a reação entre o titulante e o analito está indicada a seguir.

$$\underset{\text{solução violeta}}{5\ H_2O_2(aq) + 2\ MnO_4^-(aq) + 6\ H^+(aq)} \rightarrow \underset{\text{solução incolor}}{5\ O_2(g) + 2\ Mn^{2+}(aq) + 8\ H_2O(\ell)}$$

Ao ser gotejado sobre o titulado, o titulante perde a cor violeta característica. Assim, imediatamente após o ponto de equivalência, um ligeiro excesso de íons MnO_4^- é capaz de colorir a solução; por isso, o titulante atua também como indicador do fim da reação nessa **volumetria de oxirredução**. Reações de oxirredução são abordadas no capítulo 6.

Note que, nesse caso, a proporção estequiométrica é de 5 : 2. Logo, a razão molar é 2,5 e a proporção entre as quantidades de substância é definida pela expressão:

$$n(H_2O_2) = n(KMnO_4) \cdot 2{,}5$$

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

9. Para determinar o teor de ácido cítrico ($C_6H_8O_7$) em uma amostra de suco de limão, um profissional de um laboratório de análise de alimentos titulou 10 mL dessa amostra, gastando 30 mL de uma solução padronizada de hidróxido de sódio (NaOH) de concentração 0,10 mol L^{-1}. Como indicador, utilizou fenolftaleína.

O ácido cítrico é um composto que apresenta três hidrogênios ionizáveis, e a equação química não balanceada a seguir representa a reação que ocorre durante a titulação.

$$C_6H_8O_7(aq) + NaOH(aq) \rightleftarrows Na_3C_6H_5O_7(aq) + H_2O(\ell)$$

Qual é a concentração de ácido cítrico no suco de limão analisado?

10. A adulteração de leite por adição indevida de água oxigenada (solução de H_2O_2) foi assunto frequente nos noticiários há alguns anos. De acordo com a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), é permitido o uso de água oxigenada como agente antimicrobiano desde que não ultrapasse a concentração máxima de 800 mg por litro de leite. Uma técnica que permite quantificar a água oxigenada presente em uma amostra utiliza a análise com íons permanganato em meio ácido, segundo a reação:

$$2\ MnO_4^-(aq) + 6\ H^+(aq) + 5\ H_2O_2(aq) \rightleftarrows 2\ Mn^{2+}(aq) + 8\ H_2O(\ell) + 5\ O_2(g)$$

Sabendo que foram gastos 50 mL de uma solução de permanganato com concentração de 0,192 mol/L para titular a água oxigenada presente em 1,0 L de leite, determine se a bebida está dentro do padrão aceito pela Anvisa.

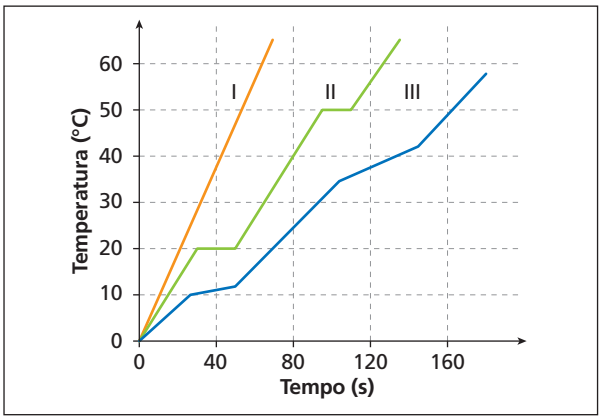
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADES DE FECHAMENTO

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. (Ufal) A matéria existe, principalmente, em três estados físicos: sólido, líquido e gasoso. A maior parte da matéria é constituída por mistura de substâncias. Cada substância possui um conjunto único de propriedades físicas e químicas que pode ser utilizado para identificá-las. O gráfico a seguir apresenta a curva de temperatura *versus* tempo para três amostras materiais, I, II e III, partindo do estado sólido no tempo $t = 0$. 1. Alternativa **e**.

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA



De acordo com o gráfico, é correto afirmar que

a. a amostra II apresenta temperatura de ebulição de 20 °C.

b. a amostra II aquece mais rápido que a amostra I.

c. à temperatura de 50 °C, a amostra I encontra-se no estado líquido.

d. as três amostras são exemplos de substâncias puras.

e. a amostra III não constitui uma substância pura por não manter as temperaturas de fusão e ebulição constantes.

2. A densidade é uma propriedade específica da matéria e, portanto, pode ser utilizada para diferenciar e identificar as substâncias. Sabendo disso, analise os recipientes (I), (II) e (III), que apresentam o mesmo diâmetro e a mesma altura. Cada um contém a mesma massa de três substâncias líquidas diferentes – etanol, água e metanol – em ordem desconhecida.

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Recipientes contendo os líquidos analisados. (Imagens sem escala, cores-fantasia.)

Dado que, a 20 °C, a densidade do etanol é 0,7893 g cm^{-3}, a da água é 0,9982 g cm^{-3} e a do metanol é 0,7914 g cm^{-3}, qual substância está presente em cada um dos recipientes? Explique seu raciocínio.

3. Em uma aula de Química, a professora apresenta um sistema constituído por três cubos de gelo, água líquida com um pouco de cloreto de sódio totalmente dissolvido e duas pequenas esferas feitas de cobre. Analise os dados do quadro a seguir e faça o que se pede.

Densidade dos componentes analisados

Componentes	Densidade (g cm^{-3}) a 0 °C
Cobre	9,0
Gelo	0,9
Solução de NaCℓ	1,2

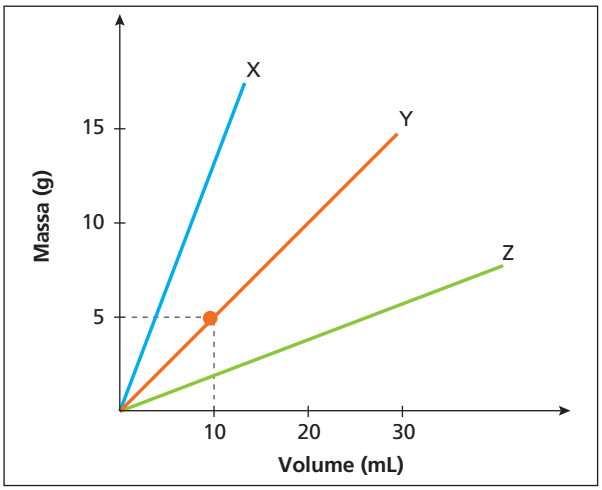
a. Esquematize, com um desenho, o sistema apresentado e justifique a posição de cada fase no esquema.

b. Quantas fases e quantas substâncias há nesse sistema?

c. A professora deixou o sistema aberto em repouso até que todo o gelo se fundisse e, depois, toda a água líquida evaporasse. Quantas substâncias e quantas fases há no novo sistema formado? Justifique.

4. (UEFS-BA) O gráfico abaixo representa a densidade de três substâncias arbitrariamente designadas como X, Y e Z.

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA



Julgue qual(quais) afirmação(ões) abaixo é(são) verdadeira(s) e qual(quais) é(são) falsa(s).

I. A densidade da substância X é maior que a da substância Z.

II. Nas mesmas condições de temperatura e pressão, massas iguais das substâncias X e Y ocupam o mesmo volume.

III. A densidade aproximada da substância Y é de 0,5 g/mL.

5. O glifosato ($C_3H_8NO_5P$) é um herbicida utilizado para eliminar plantas indesejadas (ervas daninhas) em culturas agrícolas. Suponha que um agricultor decidiu aplicar glifosato em sua plantação e adquiriu um produto importado cuja concentração indicada no rótulo era 0,9 g mL^{-1}. Considerando que o fabricante recomendava a diluição do produto em água de 1 L para 100 L antes da aplicação e que o limite de glifosato aceito no Brasil seja de 10 ppm em massa, determine se o produto está de acordo com a legislação brasileira.

Dados: d(solução) = 1,0 kg L^{-1}; V(solução diluída) = 100 L.

Continua

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

6. O ácido clorídrico concentrado apresenta 37,5% de HCℓ em massa e densidade de 1,2 g cm^{-3}. Que volume, em mL, de ácido clorídrico concentrado deve ser utilizado para preparar 7 L de uma solução de concentração 0,8 mol L^{-1} de HCℓ(aq)?

7. Suponha que, em um dia cuja temperatura era 20 °C, uma pessoa com mais de 18 anos e 70 kg tenha ingerido 300 mL de uma bebida com teor alcoólico de 5 °GL. Considerando que a quantidade de etanol que o corpo pode eliminar é da ordem de 0,2 grama por quilograma de massa corporal por hora, determine aproximadamente quanto tempo após a ingestão da bebida essa pessoa terá metabolizado e eliminado todo o etanol consumido.

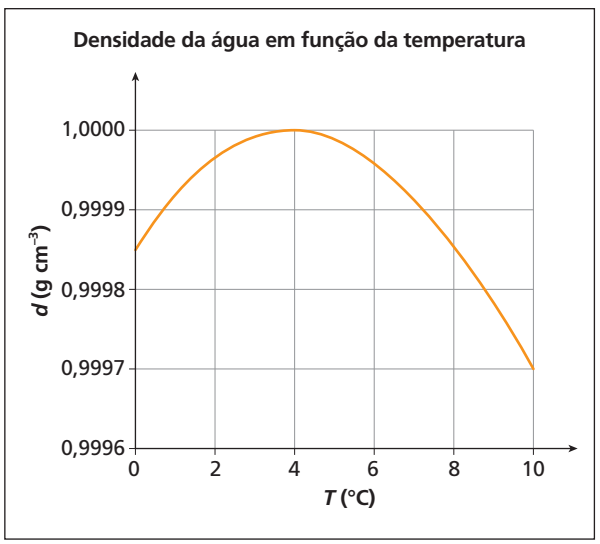
8. Suponha que haja duas soluções, uma contendo 1 kg de água e 3 mol de cloreto de sódio (NaCℓ) e outra contendo 1 kg de água e 5 mol de glicose ($C_6H_{12}O_6$), ambas submetidas à mesma pressão atmosférica. Responda e justifique:

a. Qual das soluções apresentará maior temperatura de ebulição?

b. Qual apresentará maior temperatura de congelamento?

9. As substâncias, em geral, têm sua densidade reduzida com o aumento da temperatura. Entretanto, existem algumas substâncias que apresentam comportamento anômalo. O exemplo mais conhecido é o da água, como se pode observar no gráfico a seguir.

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA



Fonte: elaborado com base em LIDE, D. R. **CRC Handbook of Chemistry and Physics**. 96th ed. Boca Raton: CRC Press, 2016.

a. Em qual intervalo de temperatura o comportamento da água se mostra anômalo?

b. O valor apresentado no gráfico para a densidade da água a 0 °C corresponde à densidade da água no estado sólido? Justifique sua resposta.

10. Em um laboratório, um frasco que contém solução de hidróxido de potássio (KOH), de concentração desconhecida, precisa ser rotulado corretamente. Para isso, o técnico do laboratório utilizou o seguinte procedimento:

- transferiu com uma pipeta volumétrica 10,0 mL da solução de KOH para um erlenmeyer;
- adicionou ao erlenmeyer 40,0 mL de água destilada, agitando o sistema;
- adicionou 3 gotas de indicador ácido-base azul de bromotimol ($C_{27}H_{28}Br_2O_5S$), cuja alteração de cor ocorre na faixa de pH entre 6,0 e 7,6, passando de amarelo para azul;
- completou uma bureta com uma solução aquosa de ácido clorídrico (HCℓ) previamente padronizada, de concentração 0,100 mol L^{-1};
- gotejou a solução de ácido até verificar alteração na cor do sistema, anotando o volume gotejado: 25,0 mL.

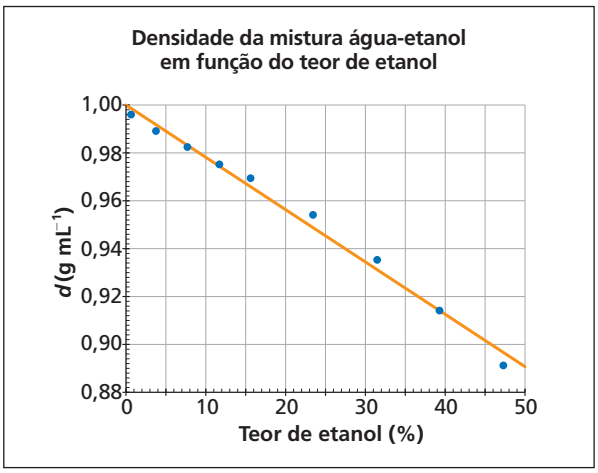
a. Qual é o nome da técnica empregada pelo técnico de laboratório?

b. Escreva em seu caderno a equação química da reação ocorrida.

c. Calcule a concentração (em mol L^{-1}) da solução de hidróxido de potássio.

11. O gráfico a seguir representa a densidade, medida a 25 °C e 1 atm, de misturas de etanol e água, em função do teor de etanol, e serve de parâmetro para a análise de produtos que contenham essa substância, comercialmente vendidos.

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA



Fonte: DAZZANI, M.; CORREIA, P. R. M. Explorando a química na determinação do teor de álcool na gasolina. **Química Nova na Escola**, n. 17, maio 2003. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc17/a11.pdf. Acesso em: 23 ago. 2024.

Uma empresa de produtos de limpeza deseja comercializar etanol em concentração 46 °INPM. Para isso, utilizou 460 L de etanol absoluto e 540 L de água destilada na preparação da solução. Um analista do Inmetro reprovou o lote preparado, indicando que fosse alterado ou o processo de fabricação ou a concentração no rótulo do produto.

a. Por que o lote foi reprovado?

b. Proponha alterações no processo de fabricação do produto.

c. Para evitar prejuízos, os responsáveis pela empresa decidiram alterar a informação no rótulo do produto. Qual concentração deve constar nas embalagens?

d. Por meio de qual análise se pode constatar a irregularidade?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Capítulo 24

Equilíbrio heterogêneo e técnicas de separação de misturas

ALAIN POL, ISM/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

TYLER OLSON/SHUTTERSTOCK

(A) Equipamento de radiografia em funcionamento. Em destaque, **(B)**, radiografia do intestino grosso após aplicação do composto sulfato de bário. (Imagem colorizada artificialmente.)

Na Medicina diagnóstica, a aplicação de contraste em pacientes auxilia a visualização de estruturas de tecidos moles. Exames radiológicos com a finalidade de analisar o trato digestório podem empregar um agente de contraste composto de sulfato de bário ($BaSO_4$), um sal insolúvel no suco gástrico. Essa característica torna sua utilização segura, pois, no estado sólido, os íons SO_4^{2-} e, principalmente, Ba^{2+} não estão disponíveis para serem absorvidos pelo organismo.

Em 2003, ao menos 21 pessoas morreram no Brasil em razão do uso de um contraste adulterado que, de acordo com o fabricante, era constituído de sulfato de bário. As mortes provocadas pela intoxicação por íons bário, Ba^{2+}, foram decorrentes de uma decisão do laboratório farmacêutico de sintetizar o sulfato de bário, $BaSO_4$, a partir de carbonato de bário, $BaCO_3$, e ácido sulfúrico, H_2SO_4.

O carbonato de bário, diferentemente do sulfato de bário, reage com o ácido clorídrico ($HC\ell$) presente no suco gástrico, formando um sal solúvel, o cloreto de bário ($BaC\ell_2$), de acordo com a equação química apresentada a seguir.

$$BaCO_3(s) + 2\ HC\ell(aq) \rightarrow BaC\ell_2(aq) + CO_2(g) + H_2O(\ell)$$

Os íons bário são então absorvidos pelas células do trato digestório, atingindo a corrente sanguínea e causando efeitos tóxicos em diferentes órgãos do corpo.

Neste capítulo, são abordados o equilíbrio em sistemas heterogêneos, técnicas de separação de misturas e análise de amostras, como destilação e cromatografia, bem como os fundamentos nos quais essas técnicas estão embasadas.

Ressalte que dióxido de carbono e água são produtos da decomposição do ácido carbônico, H_2CO_3, um ácido instável. Explique que as substâncias indicadas no estado sólido são consideradas insolúveis no meio reacional, mas, na verdade, têm solubilidade muito próxima a zero.

Explique aos estudantes que os ácidos clorídrico e sulfúrico são ácidos fortes e ionizam-se em água em grande extensão.

Comente que os precipitados de carbonato podem ser dissolvidos em meio ácido porque eles são bases conjugadas de ácidos fracos, diferentemente dos precipitados de sulfato.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Reações de precipitação e produto de solubilidade (K_s)

Os problemas abordados no início deste capítulo podem ser compreendidos a partir de conceitos relativos às propriedades de substâncias, reações químicas e soluções, mais especificamente a **solubilidade dos sais**, as **reações de precipitação** e o **produto de solubilidade**.

Solubilidade de compostos iônicos

No contexto deste capítulo, consideraremos sais as substâncias formadas por íons diferentes de H^+, OH^- e O^{2-}. Os íons que formam os sais determinam características como solubilidade em meios distintos e reatividade em relação a outras substâncias.

Em meio aquoso, os sais podem se solubilizar por meio do processo de dissociação iônica, ou seja, os íons agregados no sólido podem se separar pela interação com moléculas de água. A solubilização pode ocorrer em maior ou em menor grau, dependendo das forças de interação entre os cátions e os ânions que formam a estrutura cristalina. Mas existem outros fatores a serem considerados, alguns difíceis de serem mensurados, o que complica as previsões teóricas a respeito da solubilidade de sais. Para facilitar o trabalho em laboratório, químicos costumam construir e consultar tabelas de solubilidade com base em dados empíricos, como a disponível a seguir.

As curvas de solubilidade foram abordadas no capítulo 9.

Regras gerais de solubilidade de sais em água a 25 °C

Ânion de sais solúveis	Exceções
NO_3^- (nitrato) $C\ell O_3^-$ (clorato) $C\ell O_4^-$ (perclorato) $C_2H_3O_2^-$ (acetato)	—
$C\ell^-$ (cloreto) Br^- (brometo) I^- (iodeto)	Ag^+, Pb^{2+} e Hg_2^{2+}
F^- (fluoreto)	Mg^{2+}, Ca^{2+}, Sr^{2+}, Ba^{2+} e Pb^{2+}
SO_4^{2-} (sulfato)	Ca^{2+}, Sr^{2+}, Ba^{2+}, Ag^+, Pb^{2+} e Hg_2^{2+}
Ânion de sais insolúveis	**Exceções**
CO_3^{2-} (carbonato) PO_4^{3-} (fosfato) CrO_4^{2-} (cromato) $C_2O_4^{2-}$ (oxalato)	NH_4^+ e cátions de metais alcalinos
S^{2-} (sulfeto)	NH_4^+, Ca^{2+}, Sr^{2+}, Ba^{2+} e cátions de metais alcalinos

As regras gerais de solubilidade levam em consideração alguns sais mais comuns e ajudam a prever a solubilidade de acordo com os íons que os compõem.

Fonte: elaborado com base em SILVA, L. A. *et al.* Por que todos os nitratos são solúveis? **Química Nova**, São Paulo, v. 27, n. 6, 2004.

Em geral, há uma quantidade máxima de soluto que se dissolve em determinada quantidade de solvente em uma dada temperatura. Essa quantidade máxima é chamada **solubilidade** ou **coeficiente de solubilidade** (*s*).

Fique por dentro

Sais e solubilidade

KOCH, L. *et al.* **Sais e solubilidade**. Colorado: Universidade do Colorado, 2012. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/soluble-salts. Acesso em: 25 ago. 2024.

Nessa simulação, é possível observar a representação do processo de dissociação de sais em água até que se atinja a saturação da solução. A partir daí, o contador das espécies químicas permanece variando em torno de um valor constante, demonstrando o equilíbrio dinâmico entre as fases sólida e aquosa.

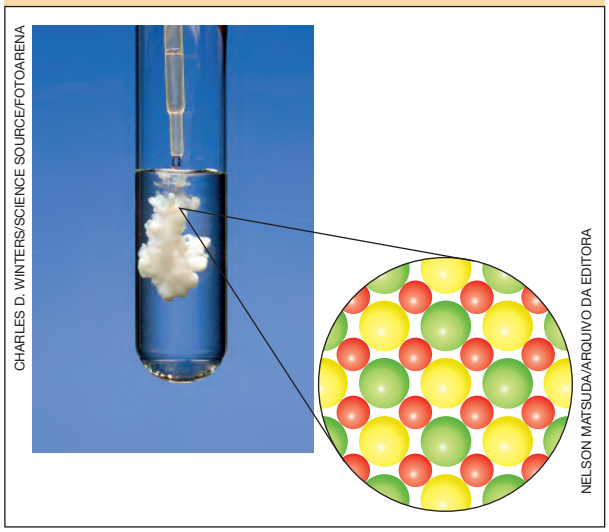
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Obtenção de substâncias insolúveis por precipitação e filtração

Quando substâncias químicas em solução reagem e formam uma substância sólida, isto é, insolúvel no meio em que se encontra, ocorre uma **reação de precipitação**. Por esse tipo de reação é possível obter compostos com elevado grau de pureza. No entanto, se executado de forma incorreta – pela proporção inadequada dos reagentes, agitação insuficiente ou temperatura inapropriada –, o processo de síntese pode apresentar resultados diferentes do esperado, como ocorreu no caso do agente de contraste sulfato de bário sintetizado a partir de carbonato de bário e ácido sulfúrico, que discutimos anteriormente.

O sulfato de bário também pode ser obtido por meio de reações de precipitação a partir de sais solúveis que apresentem os íons Ba^{2+} e SO_4^{2-}, como mostra a imagem a seguir.

Formação de sulfato de bário



CHARLES D. WINTERS/SCIENCE SOURCE/FOTOARENA

NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Formação de precipitado de sulfato de bário, $BaSO_4$, um sal de cor branca pouco solúvel em água, a partir da mistura de duas soluções. No detalhe, uma das faces do retículo cristalino do $BaSO_4$. Os átomos dos elementos químicos bário, enxofre e oxigênio estão representados pelas esferas verdes, amarelas e vermelhas, respectivamente. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Para promover uma reação que produza sulfato de bário, pode-se misturar uma solução aquosa de sulfato de potássio (K_2SO_4), na qual o sal encontra-se dissociado em cátions potássio (K^+) e ânions sulfato (SO_4^{2-}), com uma solução aquosa de cloreto de bário ($BaC\ell_2$), na qual o sal se encontra dissociado em cátions bário (Ba^{2+}) e ânions cloreto ($C\ell^-$).

$$K_2SO_4(s) \xrightarrow{H_2O} 2\ K^+(aq) + SO_4^{2-}(aq)$$

$$BaC\ell_2(s) \xrightarrow{H_2O} Ba^{2+}(aq) + 2\ C\ell^-(aq)$$

Como atividade extra, é possível solicitar aos estudantes que proponham outros pares de soluções com base nos dados da tabela anterior.

A interação entre as moléculas de água e os íons SO_4^{2-} e Ba^{2+} é menos favorável que a interação desses íons entre si. Assim, ao misturar soluções aquosas contendo essas espécies químicas, ocorre a reação de precipitação, formando o sólido $BaSO_4$.

$$Ba^{2+}(aq) + SO_4^{2-}(aq) \rightarrow BaSO_4(s)$$

Os íons K^+ e $C\ell^-$ permanecem dissolvidos em água, da mesma forma que no início do processo e, por isso, podem ser omitidos da equação química. Como o produto formado é insolúvel, ele pode ser purificado por filtração.

Algumas reações de precipitação são utilizadas em análises volumétricas como as apresentadas no capítulo 23. As mais comumente empregadas envolvem os íons Ag^+ e são conhecidas como **métodos argentimétricos**.

ANDREW LAMBERT PHOTOGRAPHY/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

Aparelhagem usada na filtração com pressão reduzida. Nesse processo se utiliza o funil de Buchner (diferente do funil de filtração simples), o qual é posicionado sobre um kitasato. Uma mangueira acoplada à saída lateral dessa vidraria é conectada a uma trompa de água (ou a uma bomba de vácuo) para criar a sucção do líquido, acelerando o processo de filtração.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

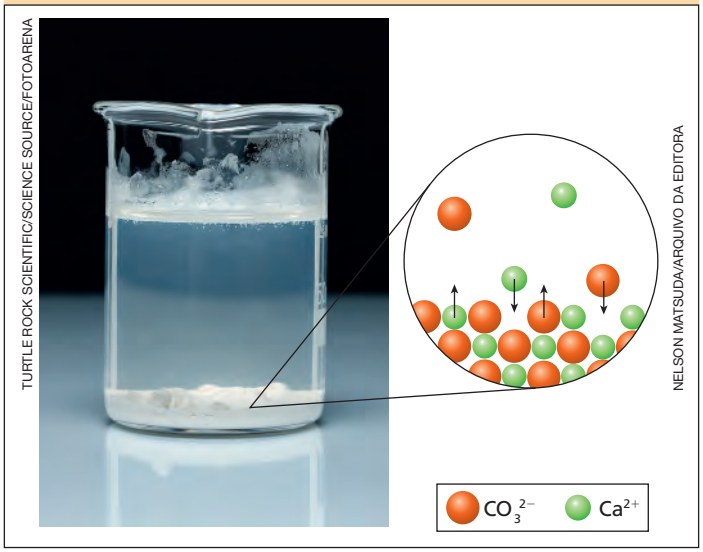
Produto de solubilidade

A solubilização de um soluto em um solvente, formando uma solução, e a precipitação desse soluto são processos inversos, que podem ser representados simplificadamente pelo esquema a seguir.

$$\text{soluto} + \text{solvente} \underset{\text{precipitação}}{\overset{\text{solubilização}}{\rightleftharpoons}} \text{solução}$$

O sulfato de bário, assim como outras substâncias, é classificado como um composto insolúvel em água, pois ele não se dissolve mais do que 0,01 mol por litro de solução (0,01 mol L^{-1}), a 25 °C. Ou seja, mesmo sendo considerado um composto insolúvel, em solução aquosa uma parte do sal encontra-se dissociada nos íons Ba^{2+} e SO_4^{2-}. O sistema formado por um sal insolúvel em meio aquoso não é estático. Constantemente, ocorre a transferência de íons em solução para o sólido, assim como íons agregados formando o sólido são transferidos para a solução, estabelecendo-se um **equilíbrio dinâmico**, como esquematizado a seguir.

Solução saturada de $CaCO_3$ com corpo de fundo



Solução aquosa de carbonato de cálcio com corpo de fundo. Na ampliação, temos uma representação submicroscópica da interface sólido-solução em que, por simplificação, as moléculas de água não foram ilustradas. As setas indicam que os íons da superfície do sólido são constantemente transferidos para a solução e desta para a superfície do retículo cristalino do sal, estabelecendo-se o equilíbrio dinâmico. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Informe que, a 18 °C, aproximadamente 1,6 mg do carbonato de cálcio pode ser dissolvido em 100 g de água pura. Caso a massa adicionada seja maior ou a temperatura seja reduzida, parte do sal permanece no estado sólido.

Os sistemas em equilíbrio dinâmico constituídos de mais de uma fase são classificados como **equilíbrios químicos heterogêneos**. Em casos que envolvem a solubilização de sais, como na mistura sulfato de bário e água, atribui-se o nome de **equilíbrio de solubilidade** ou **equilíbrio de dissolução**, que pode ser representado pela seguinte equação química:

$$BaSO_4(s) \overset{H_2O}{\rightleftharpoons} Ba^{2+}(aq) + SO_4^{2-}(aq)$$

Esse processo também pode ser descrito de forma quantitativa, por meio de uma constante que caracteriza o equilíbrio de dissolução a dada temperatura e que é denominada **produto de solubilidade** (K_s). Ela pode ser determinada por meio do produto das concentrações, em mol L^{-1}, dos íons em fase aquosa, sendo cada concentração elevada ao respectivo coeficiente estequiométrico dos íons, segundo a equação balanceada que descreve o equilíbrio. Observe:

$$A_xB_y(s) \overset{H_2O}{\rightleftharpoons} x\,A^{y+}(aq) + y\,B^{x-}(aq)$$

$$K_s = [A^{y+}]^x\,[B^{x-}]^y$$

Os valores dessas constantes de equilíbrio podem ser consultados em materiais de referência. O valor do produto de solubilidade do sulfato de bário a 25 °C, por exemplo, é $K_s = 1{,}1 \cdot 10^{-10}$. Com esse valor, é possível determinar a concentração máxima desses íons em solução, considerando que antes da dissolução do sal nenhum deles estava presente na fase aquosa. Dessa forma, a concentração em quantidade de substância dos íons bário é igual à dos íons sulfato em um sistema no equilíbrio:

$$[Ba^{2+}] = [SO_4^{2-}] = s$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

As constantes de equilíbrio são, por convenção, adimensionais, mas são calculadas com base nos valores de concentração em quantidade de substância. Assim, nessa situação, "*s*" equivale à solubilidade em quantidade de substância (mol L^{-1}) de cada íon na temperatura de referência da constante de equilíbrio. Acompanhe:

$$K_s = [Ba^{2+}]\,[SO_4^{2-}] \Rightarrow 1{,}1 \cdot 10^{-10} = s \cdot s = s^2$$

$$s = \sqrt{1{,}1 \cdot 10^{-10}}$$

$$\therefore s \simeq 1{,}05 \cdot 10^{-5} \text{ mol } L^{-1}$$

A relação estabelecida entre o produto de solubilidade e o coeficiente de solubilidade é útil, pois, em razão das pequenas concentrações das substâncias em solução, é mais prático e preciso medir em laboratório K_s do que *s*.

Registre em seu caderno

NA PRÁTICA — Padrões da relação matemática entre K_s e *s*

Nesta atividade, você e sua equipe vão analisar algumas equações químicas e expressões matemáticas para, com base nesses dados, reconhecer padrões existentes entre os valores do produto de solubilidade (K_s) e da solubilidade em mol L^{-1} (*s*) dos íons em soluções saturadas por substâncias muito pouco solúveis.

OBJETIVO

Desenvolver habilidades relacionadas ao pensamento computacional para reconhecer padrões que relacionam duas variáveis.

PREPARE-SE!

De que forma o pensamento computacional pode auxiliar na compreensão de relação matemáticas entre K_s e *s*?

PROCEDIMENTO

- Em uma folha, escrevam a equação química que representa o equilíbrio de dissociação iônica do cloreto de prata, AgCℓ.
- A expressão matemática que permite o cálculo de K_s para esse equilíbrio, com valor de $2 \cdot 10^{-10}$ a 25 °C, é:

$$K_s = [Ag^+]\,[C\ell^-]$$

- Considerando esses dados, analisem a dedução matemática que leva à relação de igualdade entre o valor de K_s e de *s* nesse equilíbrio heterogêneo.

  Dado que $[Ag^+] = [C\ell^-] = s$, temos:

$$K_s = s \cdot s = s^2$$

- Agora, representem a equação química que representa o equilíbrio de dissociação iônica do cloreto de chumbo(II), $PbC\ell_2$; analisem a expressão matemática que permite o cálculo de K_s para esse equilíbrio ($2 \cdot 10^{-5}$ a 25 °C); e a dedução matemática que leva à relação de igualdade entre os valores de K_s e de *s*.

$$K_s = [Pb^{2+}]\,[C\ell^-]^2$$

Dado que $[Pb^{2+}] = s$ e $[C\ell^-] = 2\,s$, temos:

$$K_s = s \cdot (2\,s)^2 = 4\,s^3$$

- Comparem as equações trabalhadas no primeiro e no terceiro passo deste procedimento com a equação química genérica para representação de equilíbrios como esses, apresentada neste capítulo.
- Comparem as expressões matemáticas de K_s (AgCℓ) e de K_s ($PbC\ell_2$) com a expressão genérica para o cálculo de K_s.
- Com base nesses dados, discutam e identifiquem quais informações são relevantes para o cálculo de K_s, registrando as conclusões no caderno.
- Elaborem uma dedução matemática genérica que permita relacionar os valores de K_s e da solubilidade em mol L^{-1} dos íons.
- Reúnam-se com os colegas de outra equipe e compartilhem as deduções elaboradas. Verifiquem se chegaram às mesmas conclusões e façam ajustes, se necessário.

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. Para testar a dedução, escrevam a equação química que representa o equilíbrio de dissociação iônica do hidróxido de ferro(III), $Fe(OH)_3$, e indiquem a relação matemática entre essa K_s e *s*.
2. A dedução pode ser utilizada para os cálculos de K_s e de *s* em um equilíbrio heterogêneo em que os íons estejam presentes na proporção 2 : 3 em solução? Expliquem.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Enfatize que, para comparar as solubilidades entre sais com base no valor do K_s, é necessário que as substâncias apresentem a mesma proporção entre cátions e ânions. Ao comparar ordens de grandeza, ressalte que os expoentes, nas potências de base 10, são negativos e que, quanto menor o valor de K_s, menor a solubilidade do sal.

Cálculos envolvendo o produto de solubilidade

Tomemos como exemplo o hidróxido de magnésio, $Mg(OH)_2$, substância comumente usada como antiácido no combate à azia. O equilíbrio de dissolução do hidróxido de magnésio em água é representado a seguir.

$$Mg(OH)_2(s) \overset{H_2O}{\rightleftharpoons} Mg^{2+}(aq) + 2\ OH^-(aq)$$

O hidróxido de magnésio é pouco solúvel em água a 25 °C, como mostra seu produto de solubilidade:

$$K_s = [Mg^{2+}]\ [OH^-]^2 = 5{,}6 \cdot 10^{-12}, \text{ a } 25\ °C$$

Para estimar a solubilidade (*s*) do hidróxido de magnésio, devemos considerar a equação química do equilíbrio de dissolução e a expressão matemática do produto de solubilidade. Considerando a proporção estequiométrica da reação, podemos notar que a concentração em mol L^{-1} de íons hidróxido é duas vezes maior (2 *s*) que a dos íons magnésio (*s*), e assim teremos:

$$K_s = [Mg^{2+}]\ [OH^-]^2 \Rightarrow K_s = s \cdot (2\ s)^2 = 4\ s^3$$

$$\therefore s = \sqrt[3]{\frac{K_s}{4}}$$

Substituindo o valor de K_s na expressão, calculamos o valor de *s*, que corresponde à solubilidade do $Mg(OH)_2$, na temperatura indicada:

$$s = \sqrt[3]{\frac{5{,}6 \cdot 10^{-12}}{4}} \simeq 1{,}1 \cdot 10^{-4}\ \text{mol}\ L^{-1}$$

Por fim, podemos calcular a concentração de cada íon em solução no equilíbrio, a partir do valor de *s* encontrado:

$$[Mg^{2+}] = s = 1{,}1 \cdot 10^{-4}\ \text{mol}\ L^{-1}$$
$$[OH^-] = 2s = 2{,}2 \cdot 10^{-4}\ \text{mol}\ L^{-1}$$

Quociente de solubilidade

O valor de K_s indica o produto das concentrações em quantidade de substância dos íons em uma solução saturada em equilíbrio químico heterogêneo. Uma solução é considerada saturada quando apresenta a máxima quantidade de soluto dissolvida em determinada temperatura. Podemos definir se uma solução está saturada ou não comparando o valor do produto de solubilidade com o valor do **quociente de solubilidade** (Q_s). Para calcular esse quociente, utilizamos a expressão do produto de solubilidade apresentada anteriormente empregando, no entanto, valores de concentração em quantidade de substância na situação em que o equilíbrio ainda não foi estabelecido. Assim, há três situações possíveis:

1. $Q_s < K_s$: solução **insaturada**. Nessa situação, ainda é possível aumentar a concentração de íons em solução até que o valor de K_s seja atingido;
2. $Q_s = K_s$: solução **saturada**. Nessa situação, não é possível aumentar a concentração de íons na solução. Caso seja adicionado mais desse sal, haverá corpo de fundo (sal não dissolvido) depositado no recipiente.
3. $Q_s > K_s$: solução **supersaturada**. Nessa situação, há mais íons dissolvidos do que o esperado, de acordo com o K_s. Essa é uma condição instável, em que pequenas perturbações podem promover a agregação dos íons em excesso dissolvidos nessa solução, formando corpo de fundo.

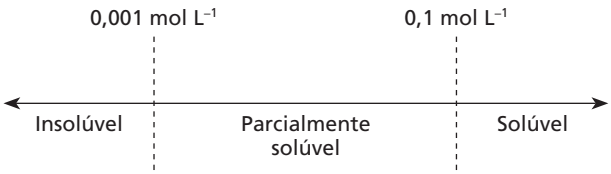
Essas relações são úteis quando se deseja avaliar a solubilidade de determinada substância em uma solução que já contém um de seus íons. Por exemplo, a solubilidade em água do sulfato de bário ($BaSO_4$) é menor em uma solução de cloreto de bário ($BaC\ell_2$) do que no solvente puro.

A comparação entre Q_s e K_s também permite compreender o caso descrito na abertura do capítulo. A solubilidade do $BaCO_3$ em água a 25 °C é $5{,}1 \cdot 10^{-5}$ mol L^{-1}, ou seja, apenas pouco superior à do $BaSO_4$. No entanto, o ânion carbonato tem maior tendência a reagir com os íons H^+ do suco gástrico que os ânions sulfato. Na presença de ácido clorídrico, a concentração de íons carbonato – provenientes do equilíbrio de solubilidade do $BaCO_3$ – diminui ($Q_s < K_s$). Para se restabelecer o equilíbrio ($Q_s = K_s$), mais carbonato deve ser formado. Logo, a reação direta é favorecida e, com isso, mais íons Ba^{2+} são dissolvidos, levando à intoxicação.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADE COMENTADA

Considere que 0,5 L de uma solução aquosa saturada, a 25 °C, de $PbSO_4$, cuja massa molar é 303 g mol^{-1}, contém 45,5 mg do sal. Classifique a solução em insolúvel, parcialmente solúvel ou solúvel de acordo com a escala a seguir.



Analisar o enunciado

A questão solicita que a solução seja classificada em uma das três categorias indicadas. Para isso, é necessário calcular sua concentração, em mol L^{-1}.

Selecionar as informações relevantes

Temos as seguintes informações:

- Massa molar do sal: 303 g mol^{-1}
- Volume da solução: 0,5 L
- Massa do sal em solução: 45,5 mg

Aplicar o conceito estudado

Inicialmente, podemos transformar a massa do sal que está na solução em gramas, dividindo o valor informado por 1.000. Em seguida, podemos calcular a quantidade em mols a que essa massa corresponde. Assim, temos:

$$1 \text{ mol } PbSO_4 \text{ —— } 303 \text{ g}$$
$$x \text{ —— } 45{,}5 \cdot 10^{-3} \text{ g}$$
$$x = 0{,}15 \cdot 10^{-3} = 1{,}5 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

Sabendo que o volume da solução é de 0,5 L, podemos calcular sua concentração:

$$1{,}5 \cdot 10^{-4} \text{ mol —— } 0{,}5 \text{ L}$$
$$y \text{ —— } 1 \text{ L}$$
$$y = 3 \cdot 10^{-4} \text{ mol } L^{-1}$$

Verificar a solução

Note que o resultado obtido, $3 \cdot 10^{-4}$ mol L^{-1} ou 0,0003 mol L^{-1}, é menor que o limite entre insolúvel e parcialmente solúvel, logo o sal $PbSO_4$ pode ser classificado como insolúvel.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

1. (UFRN) Os cálculos renais (pedras nos rins) são consequência da precipitação de certos sais presentes na urina. O resultado da dosagem dos íons cálcio, fosfato e oxalato na urina de um paciente foi:

Espécie iônica	Ca^{2+}	PO_4^{3-}	$C_2O_4^{2-}$
Concentração (mol/L)	$2 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-7}$

Considerando que os produtos de solubilidade dos sais $Ca_3(PO_4)_2$ e CaC_2O_4 são, respectivamente, $1 \cdot 10^{-25}$ e $1{,}3 \cdot 10^{-9}$, pode-se afirmar que, nessas condições, poderá haver: 1. Alternativa **c**.

a. Precipitação de oxalato e fosfato de cálcio.
b. Precipitação de oxalato de cálcio.
c. Precipitação de fosfato de cálcio.
d. Ausência de precipitação.

2. Observe a tabela de **Produtos de solubilidade a 25 °C** a seguir.

Entre os três sais que constam na tabela, qual é o de menor solubilidade (em mol L^{-1}) em água?

Produtos de solubilidade a 25 °C

Sal	K_s (25 °C)
$BaSO_4$	$1{,}1 \cdot 10^{-10}$
$CaSO_4$	$2{,}4 \cdot 10^{-5}$
$PbSO_4$	$6{,}3 \cdot 10^{-7}$

Fonte: elaborado com base em BROWN, T. L. *et al*. **Química**: a ciência central. Tradução: Eloiza Lopes, Tiago Jonas e Sonia M. Yamamoto. 13. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2016.

3. No contexto da intoxicação com íons bário descrito na abertura deste capítulo, explique por que a adição de sais como sulfato de sódio (Na_2SO_4) ou de sulfato de potássio (K_2SO_4) ao contraste administrado aos pacientes pode aumentar a segurança do exame clínico.

4. A dose letal de íons bário é cerca de 3 g L^{-1} dissolvidos em 1 L de sangue. Um paciente ingeriu x mL de uma suspensão de sulfato de bário em água. Se todo o bário dissolvido no medicamento for completamente absorvido e dissolvido em 6 L de sangue, haverá risco de morte ao paciente? Explique calculando o valor de x e avaliando a possibilidade de sua ingestão.

Dados: Massa molar do bário ≃ 140 g mol^{-1}; K_s ($BaSO_4$) = $1 \cdot 10^{-10}$ (25 °C)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Geometria molecular e polaridade das moléculas são abordadas no capítulo 2.

Interações intermoleculares e separação de misturas

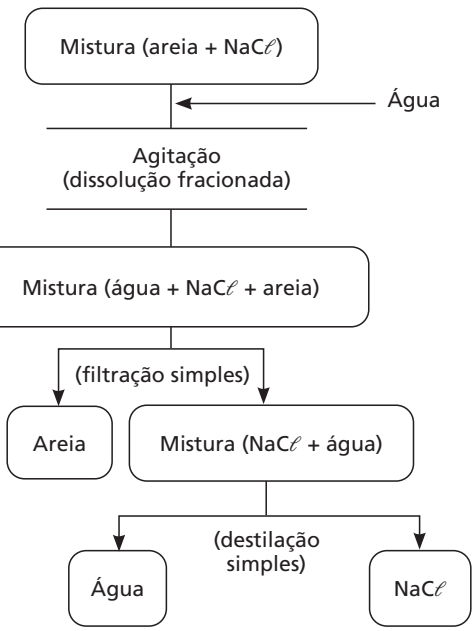
Tradicionalmente, químicos classificam as técnicas de análise como **clássicas** ou **instrumentais**. As técnicas clássicas são divididas em duas categorias: as gravimétricas e as volumétricas, enquanto as instrumentais são classificadas como: eletroquímicas, espectroscópicas e cromatográficas.

Comente que a filtração simples é especialmente recomendada quando a substância de interesse está dissolvida, e a filtração a vácuo, quando a substância de interesse é o sólido.

Antes de estudarmos alguns dos fundamentos das técnicas cromatográficas, muito empregadas em análise forense, vamos entender como a polaridade das moléculas influencia as propriedades físico-químicas dos materiais e os processos de separação de misturas.

Os processos de separação de misturas têm como base a aplicação do conhecimento a respeito das propriedades físico-químicas das substâncias (densidade, solubilidade, temperaturas de fusão e de ebulição etc.) e das interações intermoleculares, que dependem, entre outros fatores, da polaridade das moléculas.

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA



Fluxograma do procedimento usado para separação e recuperação dos componentes de uma mistura de NaCℓ e areia.

A destilação simples e a lei de Raoult são estudadas no capítulo 10.

Por exemplo, para separar os componentes de uma mistura formada por NaCℓ e areia, podemos seguir uma sequência de procedimentos como a descrita no fluxograma.

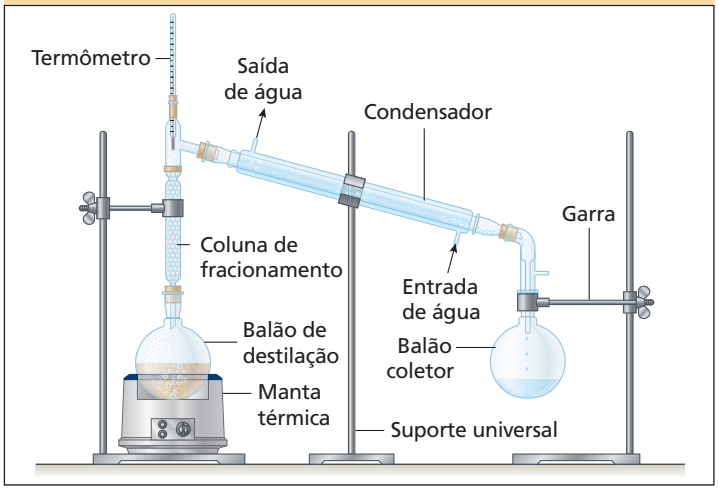
A **dissolução fracionada** baseia-se nas diferenças de solubilidade em água das substâncias da mistura. Ao adicionar uma quantidade suficiente de água, os íons Na^+ e $C\ell^-$ interagem com as moléculas de água (H_2O), uma substância polar, promovendo a solubilização do sal. Essa interação é denominada **íon-dipolo permanente**. As interações entre o dióxido de silício (SiO_2, principal constituinte da areia) e as moléculas de H_2O não são favoráveis o suficiente para propiciar a solubilização desse composto. Na etapa seguinte, a **filtração simples** possibilita a retenção dos grãos de areia. Por fim, a **destilação simples** promove a separação da água e a recuperação do cloreto de sódio sólido com base nas diferentes temperaturas de mudança de fase. À pressão de 1 atm, as temperaturas de ebulição (TE) da água e do cloreto de sódio são, respectivamente, 100 °C e 1.465 °C.

Quanto menor a diferença entre as temperaturas de ebulição das substâncias, mais difícil se torna separá-las por destilação simples. Por isso, a fim de separar os componentes da mistura água e etanol, C_2H_5OH (TE = 78 °C a 1 atm), pode-se empregar o método da **destilação fracionada**.

Nesse processo, o aquecimento leva à vaporização dos dois líquidos, em decorrência da relativa proximidade entre as TE desses componentes. No entanto, conforme essa mistura de vapores entra em contato com a coluna de fracionamento, ela se condensa transferindo energia térmica para a coluna. Dessa forma, a base da coluna de fracionamento está mais aquecida que o topo. Quando o condensado recebe energia do vapor ascendente, parte reevapora. A consequência disso é que o vapor que alcança o condensador é enriquecido no componente de menor TE, que é mais volátil.

Destilação fracionada

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA



Representação esquemática de um sistema de destilação fracionada usado em laboratório. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Isso não acontece sem a coluna de fracionamento, pois os obstáculos ao longo dela funcionam como destiladores que condensam a substância de maior TE, enquanto o líquido de menor TE passa para posições cada vez mais altas em seu interior. Quanto maior o número de sucessivas vaporizações/condensações, mais eficiente é a separação. Um dos fatores que influenciam esse parâmetro é justamente a altura da coluna.

No decorrer da destilação, o etanol se acumula no balão coletor, enquanto no balão de destilação a solução fica progressivamente mais diluída.

As interações intermoleculares de maior intensidade rompidas na destilação da mistura água-etanol são de um tipo particularmente intenso de interação dipolo permanente-dipolo permanente, classificada como **ligação de hidrogênio**. Nesse caso, a interação se dá entre o átomo de hidrogênio ligado covalentemente a um átomo de oxigênio em uma das moléculas e o átomo de oxigênio presente na outra molécula (O — H - - - O), sejam elas do etanol, sejam da água. A intensidade das interações intermoleculares influencia a temperatura de mudança de estado físico das substâncias.

A separação dos componentes do petróleo também é feita por destilação fracionada. As moléculas dos hidrocarbonetos, formadas unicamente por átomos de carbono e de hidrogênio, são apolares, e o tipo de interação que se verifica entre elas é classificado como dipolo instantâneo-dipolo induzido ou forças dispersivas de London. Quanto maior for o número de átomos de carbono nas moléculas dos hidrocarbonetos, mais intensas tendem a ser essas interações. No entanto, para moléculas de tamanho similar, as forças dispersivas de London são menos intensas que as dipolo permanente-dipolo permanente. Essa característica é aproveitada no processo de extração, que é a base do teste de determinação da porcentagem de etanol na gasolina (uma mistura de hidrocarbonetos) e verificação do atendimento à legislação. Para realizá-lo, adiciona-se solução aquosa salina ao combustível, formando-se duas fases em razão da diferença de polaridade das substâncias envolvidas. O etanol é anfifílico, o que implica que ele se dissolve tanto em solventes polares quanto apolares. No entanto, como o etanol interage mais favoravelmente com a água, separando-se da gasolina, seu teor pode ser estimado com base no acréscimo de volume da fase aquosa.

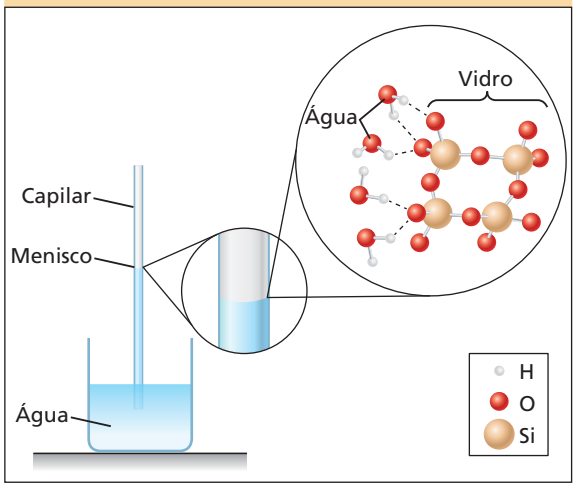
Técnicas cromatográficas

O termo **cromatografia**, utilizado pela primeira vez em 1906 pelo botânico russo Mikhail Semenovich Tswett (1872-1919), tem origem no grego e significa escrita (ou registro) com cores. Entretanto, essa técnica de separação e análise não depende da cor, e sim das interações entre as substâncias químicas. Assim, por definição, as técnicas cromatográficas são métodos físico-químicos de separação dos componentes de uma mistura em que as substâncias são distribuídas entre duas fases, uma **fase estacionária** e uma **fase móvel**.

A velocidade com a qual diferentes substâncias migram pela fase estacionária depende da intensidade das interações que se estabelecem entre o analito, que é o material sendo estudado, e as duas fases. Os componentes da amostra que apresentam maior afinidade pela fase estacionária se deslocam mais devagar. Já as substâncias que interagem pouco com a fase estacionária se movem mais rapidamente, acompanhando a fase móvel.

Outro fenômeno que pode ser explicado pelas interações intermoleculares é a **capilaridade**. Ao colocar tubos de vidro muito finos na água, o líquido flui espontaneamente para o interior do tubo. Além disso, o nível da água no capilar não é retilíneo, mas sim curvado em um formato chamado **menisco**, pois as moléculas mais próximas ao vidro estabelecem ligações intermoleculares com os átomos de oxigênio do dióxido de silício (SiO_2), causando deformação da superfície do líquido.

Efeito de capilaridade



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

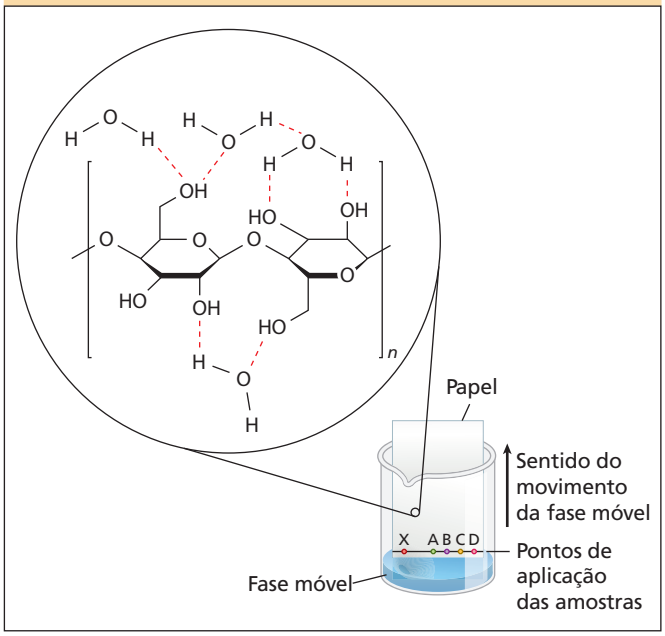
Fonte: elaborado com base em BROWN, T. L. *et al*. **Chemistry**: the central science. 15th ed. New York: Pearson, 2022.

As ligações intermoleculares (representadas pelas linhas tracejadas) entre o SiO_2 presente no vidro e a água são responsáveis pelos fenômenos de capilaridade e formação do menisco. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A capilaridade também pode ser observada na natureza. Por exemplo, as ligações intermoleculares da água permitem que ela seja puxada para cima, contra a força da gravidade, através dos pequenos vasos capilares nos tecidos vegetais. Esse fenômeno é crucial para o transporte de água e nutrientes das raízes até as partes superiores das plantas.

Cromatografia em papel



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Representação das moléculas de água adsorvidas às moléculas de celulose na superfície do papel. Os traços em vermelho representam as ligações de hidrogênio entre as moléculas. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

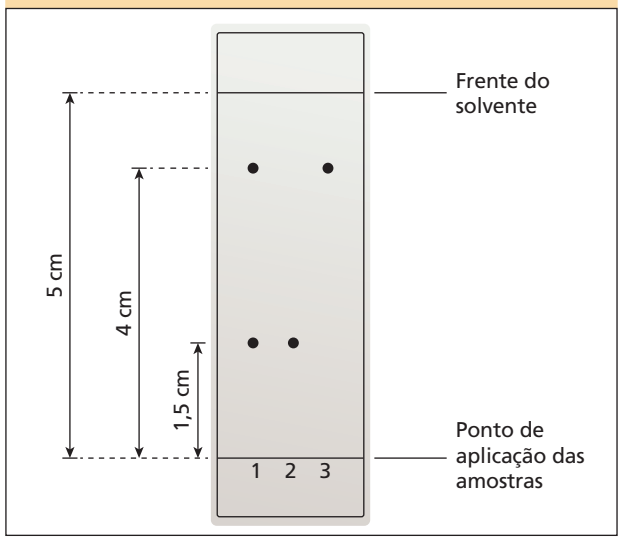
Cromatografia planar

As técnicas de cromatografia planar são mais empregadas na análise dos componentes de uma mistura do que em sua purificação. A **cromatografia em papel** (CP) é um método simples, barato e bastante utilizado para análise de substâncias polares. Na CP a fase móvel é líquida e a fase estacionária é formada pelas moléculas de água adsorvidas às moléculas de celulose no papel poroso utilizado, ou seja, a fase estacionária se caracteriza como polar.

Na **cromatografia em camada delgada** (CCD), a fase móvel também é líquida e a fase estacionária é uma película de um material sólido polar, como a alumina e a sílica, finamente dividido e depositado sobre um suporte de vidro, alumínio ou plástico. A CCD também é um método relativamente rápido e simples de análise, mais eficiente que a CP na separação dos componentes da mistura (analitos) e, consequentemente, em suas identificações. A CCD é bastante utilizada para o acompanhamento da evolução de sínteses orgânicas.

Tanto na CP quanto na CCD, o movimento da fase móvel é ascendente e, à medida que a fase móvel sobe pela fase estacionária, as substâncias são separadas em função das diferentes interações com as fases móvel e estacionária. Observe o esquema a seguir.

Cromatografia em camada delgada



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Informe que a finalidade da aplicação dos padrões analíticos é ter um parâmetro de comparação que auxilie na identificação dos componentes da amostra, com base nos fatores de retenção.

Representação esquemática de cromatograma obtido por CCD para análise da amostra de um medicamento (1) em comparação com amostras de seus princípios ativos puros (2 e 3). (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

O parâmetro utilizado em cromatografia planar para identificar as substâncias é o **fator de retenção** (R_f), que é dado pela razão entre a distância percorrida por uma substância e a distância total percorrida pela fase móvel (frente do solvente), tendo como base o ponto de aplicação das amostras.

$$R_f = \frac{\text{distância percorrida pelo solvente}}{\text{distância percorrida pela substância}}$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

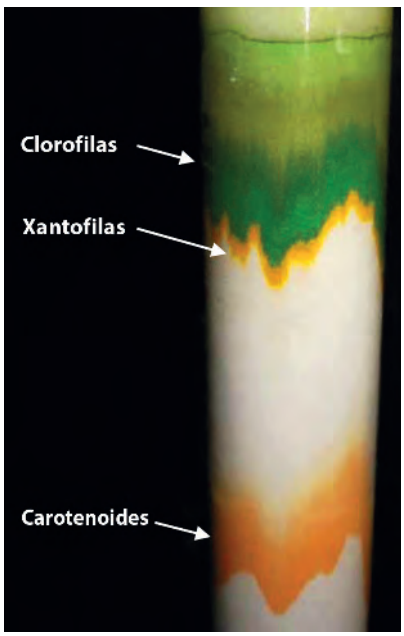
Mantendo-se as condições de análise (mesmas fases móvel e estacionária), o valor do fator de retenção deve ser o mesmo para dada substância.

Observando o cromatograma do esquema anterior, podemos verificar que há dois sinais cromatográficos referentes à amostra 1. O primeiro apresenta $R_f = 0{,}3$ e o segundo, $R_f = 0{,}8$. Eles coincidem com os valores de R_f das amostras 2 e 3, respectivamente, e essa coincidência indica que a amostra 1 deve conter misturadas as substâncias das amostras 2 e 3. A análise do cromatograma também permite concluir que a substância que compõe a amostra 2 é mais polar que a substância que constitui a amostra 3, pois é retida com mais facilidade pela fase estacionária, polar.

Efetue os cálculos de R_f com os estudantes demonstrando se tratar de uma grandeza adimensional.

Cromatografia em coluna

As técnicas de cromatografia em coluna empregam quantidades de amostra maiores que as cromatografias planares e permitem que os componentes da mistura sejam coletados individualmente. Na **cromatografia líquida clássica** (CLC), são utilizadas fases líquidas polares ou apolares e, geralmente, fases estacionárias sólidas polares. No experimento realizado por Tswett, uma coluna de vidro foi preenchida com carbonato de cálcio ($CaCO_3$), sobre o qual foi adicionado um extrato de folhas vegetais. Em seguida, adicionando-se continuamente o solvente éter de petróleo – mistura de hidrocarbonetos com 5 a 6 átomos de carbono –, foi possível separar diferentes frações, que foram identificadas como carotenoides, xantofilas e clorofilas.



REVISTA VIRTUAL DE QUÍMICA/UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE, RJ

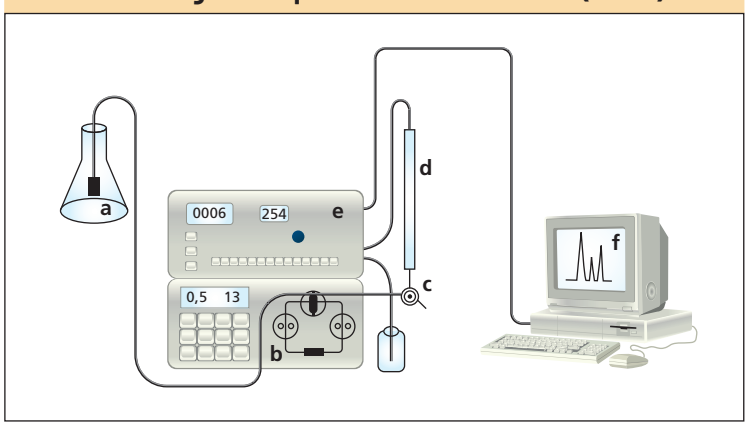
Fonte: PACHECO, S. *et al*. História da cromatografia líquida. **Revista Virtual de Química**, Niterói, v. 7, n. 4, 2015.

Reprodução do experimento de Tswett, identificando as frações das clorofilas, xantofilas e dos carotenoides.

Com o advento de novas tecnologias e o desenvolvimento de novos materiais para compor fases estacionárias, foi possível aprimorar as técnicas de cromatografia em coluna. Uma dessas técnicas instrumentais é a **cromatografia líquida de alta eficiência** (CLAE), conhecida também pela sigla em inglês HPLC (*high-performance liquid chromatography*).

Atualmente, a CLAE é a técnica mais empregada pela indústria, para a análise de fármacos, e pela Química Forense, para a detecção de drogas ilícitas. Nessa técnica, a fase estacionária é acondicionada em colunas de aço inoxidável, pelas quais a fase móvel é percolada (filtrada) com o uso de bombas de alta pressão. As amostras são introduzidas por meio de uma válvula de injeção, e as frações são detectadas por um dispositivo, escolhido em função das características da amostra, que envia as informações a um computador, onde os dados são processados e seja possível traçar os cromatogramas. Observe a imagem a seguir.

Cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE)



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

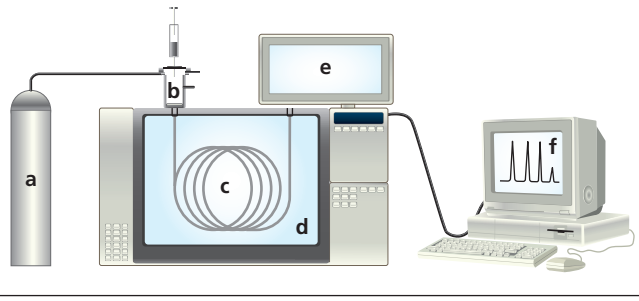
Fonte: DEGANI, A. L. G. *et al*. Cromatografia: um breve ensaio. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 7, p. 24, 1998.

Representação esquemática de um equipamento de CLAE, identificando seus componentes: **(a)** reservatório da fase móvel, **(b)** bomba de alta pressão, **(c)** válvula de injeção, **(d)** coluna, **(e)** detector e **(f)** registrador. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Quando as substâncias a serem analisadas apresentam temperatura de ebulição abaixo de 300 °C e são termicamente estáveis, é possível realizar a separação e a análise por meio da **cromatografia em fase gasosa** (CG). Nessa técnica, a fase móvel é um gás inerte (gás nitrogênio, N_2, ou gás hélio, He) responsável por arrastar através da coluna os vapores das amostras, que são aquecidas dentro de um forno, de modo que toda a separação ocorra em fase gasosa. Observe a imagem a seguir.

Cromatografia em fase gasosa (CG)



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: VASCONCELLOS, P. C. *et al*. Chromatographic Techniques for Organic Analytes. *In*: FORBES, P. B. C. (ed.). **Comprehensive Analytical Chemistry**. Amsterdam: Elsevier, 2015. p. 267-309.

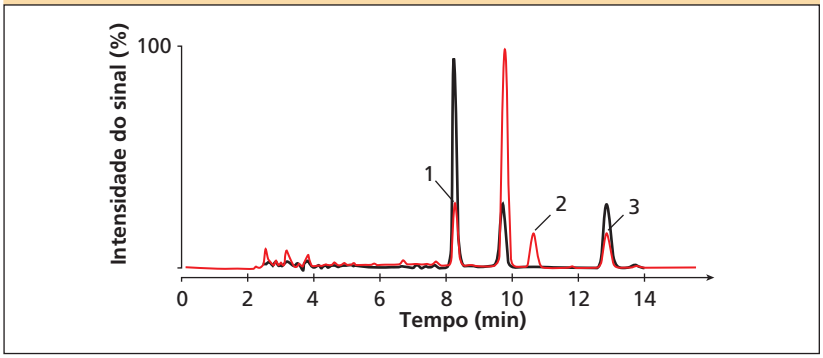
Representação esquemática de um equipamento básico de CG, identificando seus componentes: **(a)** reservatório do gás de arraste, **(b)** injetor, **(c)** coluna, **(d)** forno da coluna, **(e)** detector e **(f)** registrador. Em geral, as análises por CG são mais eficientes que as por CLAE, especialmente em razão do tamanho e do diâmetro da coluna. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Comente que a anfetamina é um metabólito do femproporex. Assim, sua ingestão resulta na identificação das duas substâncias. O sinal com $t_R \simeq 9{,}8$ min refere-se a uma substância naturalmente presente na urina, que não foi identificada na análise.

Um dos parâmetros para a interpretação de um cromatograma de CLAE ou CG é o **tempo de retenção** (t_R), período necessário para que cada fração atravesse a coluna até atingir o detector. Mantidas as condições de análise, tipo e temperatura da coluna, composição e fluxo da fase móvel, o valor do tempo de retenção é o mesmo para dada substância.

A imagem a seguir apresenta o cromatograma de uma análise feita por CLAE para identificar substâncias com propriedades estimulantes na urina de motoristas de caminhão. A linha preta corresponde ao perfil da amostra de urina de um voluntário. Já a linha vermelha corresponde ao perfil dos padrões analíticos, usado para fins de comparação – preparação contendo algumas substâncias que podem estar nas amostras analisadas. Nesse caso, o padrão analítico era formado por anfetamina, anfepramona e femproporex, indicados, respectivamente, pelos números 1, 2 e 3.

Cromatograma de substâncias estimulantes na urina



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: TAKITANE, J. *et al.* Determination of amphetamine, amfepramone and fenproporex in urine samples by HPLC-DAD: application to a population of brazilian truck drivers. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, Campinas, v. 27, n. 3, 2016.

Cromatograma resultante de análise da urina de motoristas de caminhão, identificando a presença de substâncias estimulantes.

Comparando os tempos de retenção das substâncias, podemos constatar que, na amostra de urina analisada, há anfetamina ($t_R \simeq 8{,}2$ min) e femproporex ($t_R \simeq 13$ min).

Esse exemplo ilustra como um método cromatográfico pode ser útil na análise forense e no controle do *doping* em atletas profissionais. O *doping* é trabalhado no capítulo 15.

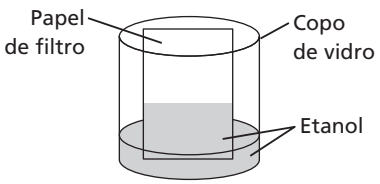
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

5. (Enem) Um experimento simples, que pode ser realizado com materiais encontrados em casa, é realizado da seguinte forma: adiciona-se um volume de etanol em um copo de vidro e, em seguida, uma folha de papel. Com o passar do tempo, observa-se um comportamento peculiar: o etanol se desloca sobre a superfície do papel, superando a gravidade que o atrai no sentido oposto, como mostra a imagem. Para parte dos estudantes, isso ocorre por causa da absorção do líquido pelo papel. 5. Alternativa **d**.



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Do ponto de vista científico, o que explica o movimento do líquido é a

a. evaporação do líquido.
b. diferença de densidades.
c. reação química com o papel.
d. capilaridade nos poros do papel.
e. resistência ao escoamento do líquido.

6. Por que não é possível separar o álcool etílico da água por meio de decantação, como se faz com o sistema água e óleo de cozinha?

7. Quando fazemos café coado, colocamos água quente sobre o pó. A água extrai alguns dos componentes do pó de café, e o líquido resultante atravessa o coador de pano ou de papel. Algo semelhante ocorre quando fazemos um chá. Esse processo de dissolução seletiva de componentes (dissolução fracionada) pode ser empregado em muitas outras separações, principalmente para a extração de aromas e de corantes vegetais. O pau-brasil, por exemplo, até a descoberta dos corantes artificiais, no século XIX, era valorizado porque dele se extraía um corante vermelho muito apreciado na Europa. Outro exemplo é a utilização dessa técnica em indústrias de perfumes para extrair aromas de flores e madeiras.

a. O café que tomamos deve ser classificado como material heterogêneo ou homogêneo? O café é uma solução?
b. Considerando que a solubilidade do café seja diretamente proporcional à temperatura, o que deverá ocorrer ao se tentar preparar um café com água gelada em vez de quente?

8. Uma das técnicas para extrair aromas de flores consiste em deixá-las em contato com gordura, já que ela absorve as substâncias responsáveis pelo aroma. As flores vão sendo trocadas periodicamente, até que a gordura fique saturada da essência floral. Em seguida, são realizadas três operações:

I. adição de álcool para dissolver a gordura;
II. filtração para eliminar eventuais restos de pétalas que tenham ficado na mistura;
III. destilação da mistura álcool + gordura + essência para separar o sistema álcool/essência; a essência é arrastada com o álcool; depois, evapora-se o álcool para separar a essência.

Quais das proposições a respeito desse processo são verdadeiras? Justifique sua resposta.

a. A essência deve ter solubilidade diferente no álcool e na gordura.
b. O álcool deve ser menos volátil que a gordura.
c. A essência e a gordura são separadas por filtração.
d. A operação III envolve uma destilação fracionada seguida de uma evaporação.

9. Observe os dados da tabela a seguir e responda o que se pede.

Propriedades da glicerina, etanodiol e eugenol

Substância	Densidade ($g\ mL^{-1}$)	Temperatura de fusão (°C)	Temperatura de ebulição (°C)	Solubilidade em água
Glicerina	1,26	18	290	Solúvel
Etanodiol	0,84	–13	197	Solúvel
Eugenol	1,07	–9	255	Insolúvel

Fonte: HAYNES, W. M. (ed.). **CRC Handbook of Chemistry and Physics**. 95th ed. London: CRC Press, 2014.

Propriedades das substâncias a 1 atm e 25 °C.

a. É viável separar uma solução de glicerina e etanodiol por destilação simples? Explique.
b. É possível separar uma mistura de glicerina e eugenol por dissolução fracionada usando água como solvente? Explique.

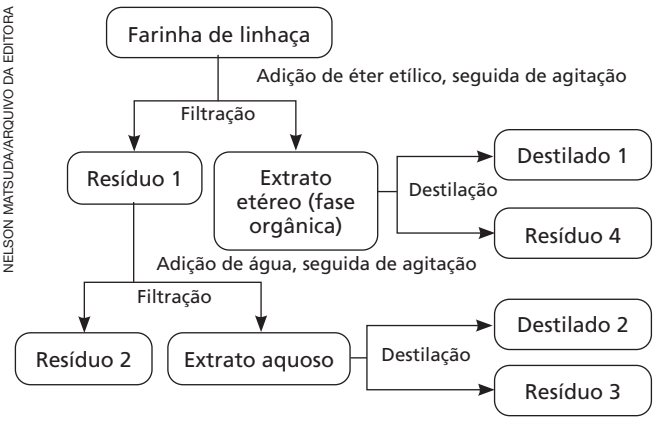
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADES DE FECHAMENTO

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. (Enem) A farinha de linhaça dourada é um produto natural que oferece grandes benefícios para o nosso organismo. A maior parte dos nutrientes da linhaça encontra-se no óleo desta semente, rico em substâncias lipossolúveis com massas moleculares elevadas. A farinha também apresenta altos teores de fibras proteicas insolúveis em água, celulose, vitaminas lipossolúveis e sais minerais hidrossolúveis.

Considere o esquema, que resume um processo de separação dos componentes principais da farinha de linhaça dourada. 1. Alternativa **e**.



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

O óleo de linhaça será obtido na fração

a. destilado 1.
b. destilado 2.
c. resíduo 2.
d. resíduo 3.
e. resíduo 4.

2. As reações de precipitação podem ser utilizadas como uma estratégia de purificação de amostras de água. Se o objetivo for remover íons de uma solução de nitrato de prata ($AgNO_3$), indique, entre os ácidos inorgânicos HF, HCℓ, HBr, HI e H_2SO_4, quais poderiam ser empregados. Apresente uma justificativa para sua resposta, com base nos dados da tabela **Regras gerais de solubilidade de sais em água a 25 °C**.

3. Compare as informações da tabela a seguir e indique qual dos sais apresenta a menor solubilidade (em mol L^{-1}) em água a 25 °C.

Produto de solubilidade de sais a 25 °C

Sal	K_s a 25 °C
PbF_2	$3{,}7 \cdot 10^{-8}$
$PbBr_2$	$7{,}9 \cdot 10^{-5}$
$Pb(IO_3)_2$	$2{,}6 \cdot 10^{-13}$

Fonte: ATKINS, P.; JONES, L. **Princípios de Química**: questionando a vida moderna e o meio ambiente. Tradução: Ricardo Bicca de Alencastro. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

4. Explique de que maneira podemos determinar a constante do produto de solubilidade de um composto utilizando o valor da solubilidade de um soluto.

5. O cloreto de prata (AgCℓ) é uma substância pouco solúvel em água. Seu coeficiente de solubilidade, a 50 °C, é de 520 µg do sal dissolvidos em 100 g de água. Determine o K_s do cloreto de prata, a essa temperatura.

Dados: $M(AgC\ell) = 143\ g\ mol^{-1}$; $1\ g = 10^6\ \mu g$; $d_{água} = 1\ g\ mL^{-1}$.

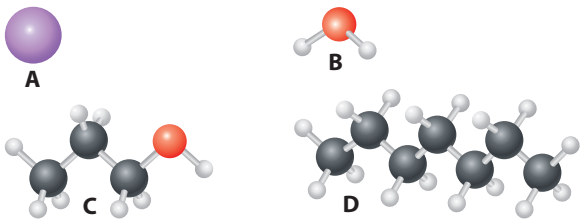
6. O sulfato de cálcio, $CaSO_4$, principal componente do giz escolar, é um composto pouco solúvel em água. O equilíbrio de dissolução desse sal pode ser representado por:

$$CaSO_4(s) \overset{H_2O}{\rightleftharpoons} Ca^{2+}(aq) + SO_4^{2-}(aq)$$

Adicionando-se uma barra de giz em um copo com água pura, a 25 °C, qual será a concentração em quantidade de substância (mol) dos íons Ca^{2+} em solução depois que o equilíbrio é estabelecido?

Dado: $K_s(CaSO_4) = 2{,}4 \cdot 10^{-5}$, a 25 °C.

7. Analise os modelos de representação estrutural de algumas espécies químicas e responda aos itens a seguir. Nas representações, as esferas de cor vermelha, branca, cinza-escura e roxa correspondem, respectivamente, a átomos de oxigênio, de hidrogênio, de carbono e ao íon sódio (Na^+).



(Imagens sem escala; cores-fantasia.)

NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

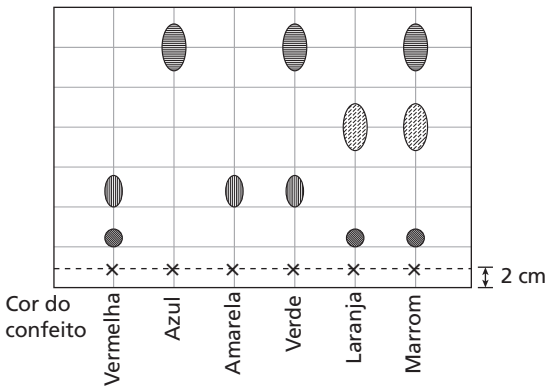
a. O que se pode afirmar a respeito da polaridade das moléculas B, C e D?

b. Qual interação se estabelece com maior intensidade entre os pares: A — B, B — C, C — D e D — D?

8. (Fuvest-SP) Os confeitos de chocolate de determinada marca são apresentados em seis cores. Com eles, foi feito o seguinte experimento, destinado a separar os corantes utilizados em sua fabricação: confeitos de cada uma das seis diferentes cores foram umedecidos com água e pressionados contra uma folha de papel especial, de modo a deixar amostras dos corantes em pontos igualmente espaçados, sempre a 2 cm da base da folha. A seguir, a folha foi colocada em um recipiente com água, de forma a mergulhar somente a base da folha de papel na água, sem que o líquido tocasse os pontos coloridos. Após algum tempo, quando a água

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

havia atingido o topo da folha, observou-se a formação de manchas de diferentes cores, aqui simbolizadas por diferentes formas e tamanhos: 8. Alternativa **d**.



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

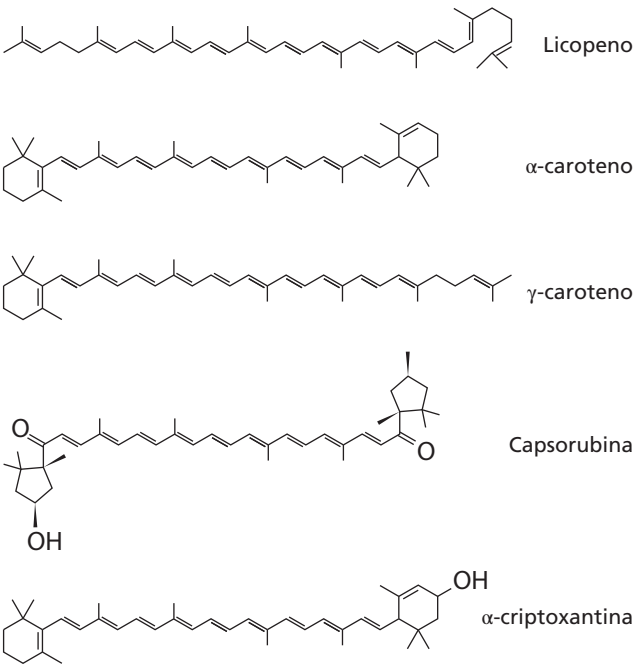
× indica o ponto de aplicação de cada amostra.

Os confeitos em cuja fabricação é empregado um corante amarelo são os de cor

a. vermelha, amarela e marrom.
b. amarela, verde e laranja.
c. verde, azul e marrom.
d. vermelha, amarela e verde.
e. vermelha, laranja e marrom.

9. (Enem) A cromatografia em papel é um método de separação que se baseia na migração diferencial dos componentes de uma mistura entre duas fases imiscíveis. Os componentes da amostra são separados entre a fase estacionária e a fase móvel em movimento no papel. A fase estacionária consiste de celulose praticamente pura, que pode absorver até 22% de água. É a água absorvida que funciona como fase estacionária líquida e que interage com a fase móvel, também líquida (partição líquido-líquido). Os componentes capazes de formar interações intermoleculares mais fortes com a fase estacionária migram mais lentamente.

Uma mistura de hexano com 5% (v/v) de acetona foi utilizada como fase móvel na separação dos componentes de um extrato vegetal obtido a partir de pimentões. Considere que esse extrato contém as substâncias representadas.



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

RIBEIRO, N. M.; NUNES, C. R. Análise de pigmentos de pimentões por cromatografia em papel. **Química Nova na Escola**, n. 29, ago. 2008 (adaptado).

A substância presente na mistura que migra mais lentamente é o(a) 9. Alternativa **d**.

a. licopeno.
b. α-caroteno.
c. γ-caroteno.
d. capsorubina.
e. α-criptoxantina.

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Reflita sobre seu aprendizado!

Registre em seu caderno

Agora que o trabalho com esta unidade foi finalizado, é o momento de você refletir sobre seu aprendizado e identificar novos interesses para continuar aprendendo. Para isso, analise e responda às questões a seguir.

- Retome as questões da seção **Pense nisso!** na abertura desta unidade e avalie se concorda com suas respostas anteriores depois das discussões realizadas ao longo do estudo dos capítulos. Reescreva-as, se necessário.
- O que você aprendeu acerca dos assuntos abordados nesta unidade?
- Quais assuntos/atividades geraram mais dificuldades para sua aprendizagem? Como você as superou?
- Reveja os pontos que deixaram dúvidas e que não foram bem compreendidos. Converse sobre eles com os colegas e com o professor a fim de planejarem outras possíveis estratégias de estudo.
- O que mais você gostaria de saber sobre os conteúdos abordados nesta unidade?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

EDUCAÇÃO MIDIÁTICA

ODS 4

ODS 16

Inteligência artificial e representações da natureza

A inteligência artificial (IA) tem o potencial de revolucionar a forma como interpretamos a natureza. Com algoritmos sofisticados, a IA pode processar vastas quantidades de dados, identificar padrões complexos e gerar novas perspectivas sobre os fenômenos da natureza. Essas análises podem gerar simulações realistas de sistemas naturais, como o clima, a ecologia e a geologia, que podem ajudar os cientistas, por exemplo, a testar hipóteses, prever eventos, desenvolver soluções para problemas ambientais, analisar imagens e vídeos para identificar mudanças na vegetação, detectar incêndios florestais e monitorar a vida selvagem, entre outras aplicações.

Contudo, a IA, como toda tecnologia, possui ambivalências: pode-se fazer um uso benéfico ou prejudicial dos seus recursos. A inteligência artificial generativa – capaz de gerar textos, vídeos, áudios e imagens a partir de comandos do usuário –, por exemplo, pode facilitar muitos processos criativos, mas também pode ser utilizada para criar *deepfakes*, ou seja, vídeos ou imagens falsas que parecem reais.

No contexto dos fenômenos da natureza, as *deepfakes* podem ser usadas para criar paisagens falsas, animais inexistentes ou eventos climáticos que nunca ocorreram, contribuindo para a disseminação de desinformação e de *fake news*. Além disso, os algoritmos de IA são treinados com grandes volumes de dados, que podem conter vieses sociais e culturais, distorcendo a representação da realidade nos conteúdos gerados. A seguir, temos um exemplo de imagem da Floresta Amazônica real em período de estiagem e outra criada por IA.

MICHAEL DANTAS/AFP/GETTY IMAGES

SHUTTERSTOCK AI/SHUTTERSTOCK

(A) Fotografia aérea da região amazônica em período de estiagem. Manaus (AM), outubro de 2023.
(B) Imagem gerada por inteligência artificial representando a região amazônica em período de estiagem.

Note que, na imagem (B), gerada por IA, apesar de a região de floresta remeter a fotos típicas da Amazônia, há alguns itens incomuns na imagem. Por exemplo, a via sobre a ponte parece ser uma estrada de terra, e não de asfalto ou cimento, como seria esperado. Além disso, apesar de o cenário representar um período de baixa no nível dos rios, há um barco relativamente grande navegando em um trecho com aparentemente pouca água, o que provavelmente não seria possível.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Por isso, é fundamental analisar criticamente textos e imagens gerados por IA. Isso pode ser feito procurando inconsistências visuais, como anomalias na imagem, objetos que não correspondem ao ambiente, sombras que não se alinham com a fonte de luz ou reflexos que não coincidem com a posição dos objetos, ou inconsistências narrativas, isto é, aspectos que fazem uma história ou explicação sem sentido ou sem conexão lógica ou respaldo científico de fontes de informações qualificadas. Para isso, é fundamental consultar fontes adequadas: veículos especializados em verificação de fatos, como as agências de checagem de informações, podem ajudar a avaliar a confiabilidade e a veracidade de um conteúdo. Com o avanço no uso da IA, cresce a demanda por especialistas em processamento de imagem, tanto para a geração de imagens com IA quanto para o desenvolvimento de técnicas de identificação de manipulação de imagens e vídeos utilizando *deepfakes*.

1. Como a IA generativa pode ajudar a compreender fenômenos naturais?
2. Quais são as possíveis consequências benéficas e danosas dessa tecnologia na disseminação de informações sobre esse assunto?

Para iniciar a reflexão sobre essa importante tecnologia e após ter lido o texto anterior, reúna-se com outros dois ou três colegas e discutam as seguintes questões, sistematizando, em tópicos, as opiniões e compreensões do grupo:

Ampliação de repertório

Agora vamos explorar as possibilidades de representar fenômenos da natureza por meio de uma inteligência artificial generativa. Para essa atividade, escolha uma IA generativa de imagem disponível gratuitamente na internet. Vamos utilizá-la para representar fenômenos cotidianos, como o movimento de uma onda, o crescimento de uma planta ou o surgimento de uma tempestade. No mesmo grupo da atividade anterior, acompanhem os seguintes passos.

1. **Escolham um fenômeno:** pode ser um dos sugeridos no enunciado ou outro que desperte o interesse de vocês.
2. **Definam as variáveis:** quais são os principais fatores que influenciam o fenômeno escolhido? (por exemplo: altura da onda, tipo de planta, velocidade do vento).
3. **Criem *prompts* específicos:** formulem perguntas ou comandos objetivos, como "Gere a imagem do broto de uma planta" ou "Demonstre como se forma uma tempestade".
4. **Analisem os resultados:** comparem as imagens geradas com as suas imagens ou outras fontes confiáveis de informações sobre o fenômeno. Identifiquem semelhanças, diferenças e possíveis explicações para os resultados.

   Após gerarem conteúdos, discutam:

   - Que semelhanças e diferenças o grupo encontrou entre o que foi gerado pela IA e as informações sobre o fenômeno escolhido?
   - De que forma o grupo lidou com as diferenças entre os resultados gerados pela IA e as imagens e explicações de outras fontes de informação?

Produção de conteúdo

Com base nas imagens geradas pela IA, os integrantes do grupo vão criar uma narrativa sobre o fenômeno escolhido, em que deverão explicar como este se desenvolve, de modo que faça sentido para outras pessoas. Essa narrativa deve privilegiar as imagens, mas também ter elementos verbais (por meio de texto escrito ou narração em voz).

Dessa forma, a narrativa pode ser uma história em quadrinhos, uma sequência de imagens para redes sociais, um vídeo ou uma apresentação em *slides*. Lembrem-se de que as imagens e os textos (falados ou escritos) devem ser complementares.

Autoavaliação

Este espaço é destinado para reconhecer seus pontos fortes e oportunidades de melhoria em seu processo de aprendizagem. Anote em seu caderno o nível de desempenho para cada critério listado a seguir. Combine previamente com o professor o que é esperado para os níveis de desempenho: avançado, adequado, básico e iniciante. Seguem os critérios adotados para esta proposta:

- Refletir sobre os impactos da inteligência artificial nos processos criativos.
- Explorar a inteligência artificial generativa na representação de fenômenos naturais.
- Analisar criticamente os conteúdos gerados por inteligência artificial.
- Explicar um fenômeno da natureza, em um conteúdo midiático, com apoio de inteligência artificial generativa.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

TABELA PERIÓDICA

1																	18
1 **H** hidrogênio 1,008	2		Legenda: número atômico **símbolo** nome massa atômica									13	14	15	16	17	2 **He** hélio 4,003
3 **Li** lítio 6,941	4 **Be** berílio 9,012											5 **B** boro 10,81	6 **C** carbono 12,01	7 **N** nitrogênio 14,01	8 **O** oxigênio 16,00	9 **F** flúor 19,00	10 **Ne** neônio 20,18
11 **Na** sódio 22,99	12 **Mg** magnésio 24,31	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13 **Aℓ** alumínio 26,98	14 **Si** silício 28,09	15 **P** fósforo 30,97	16 **S** enxofre 32,07	17 **Cℓ** cloro 35,45	18 **Ar** argônio 39,95
19 **K** potássio 39,10	20 **Ca** cálcio 40,08	21 **Sc** escândio 44,96	22 **Ti** titânio 47,87	23 **V** vanádio 50,94	24 **Cr** crômio 52,00	25 **Mn** manganês 54,94	26 **Fe** ferro 55,85	27 **Co** cobalto 58,93	28 **Ni** níquel 58,69	29 **Cu** cobre 63,55	30 **Zn** zinco 65,38(2)	31 **Ga** gálio 69,72	32 **Ge** germânio 72,63	33 **As** arsênio 74,92	34 **Se** selênio 78,97	35 **Br** bromo 79,90	36 **Kr** criptônio 83,80
37 **Rb** rubídio 85,47	38 **Sr** estrôncio 87,62	39 **Y** ítrio 88,91	40 **Zr** zircônio 91,22	41 **Nb** nióbio 92,91	42 **Mo** molibdênio 95,95	43 **Tc** tecnécio	44 **Ru** rutênio 101,1	45 **Rh** ródio 102,9	46 **Pd** paládio 106,4	47 **Ag** prata 107,9	48 **Cd** cádmio 112,4	49 **In** índio 114,8	50 **Sn** estanho 118,7	51 **Sb** antimônio 121,8	52 **Te** telúrio 127,6	53 **I** iodo 126,9	54 **Xe** xenônio 131,3
55 **Cs** césio 132,9	56 **Ba** bário 137,3	57-71 lantanídios	72 **Hf** háfnio 178,5	73 **Ta** tântalo 180,9	74 **W** tungstênio 183,8	75 **Re** rênio 186,2	76 **Os** ósmio 190,2	77 **Ir** irídio 192,2	78 **Pt** platina 195,1	79 **Au** ouro 197,0	80 **Hg** mercúrio 200,6	81 **Tℓ** tálio 204,4	82 **Pb** chumbo 207,2	83 **Bi** bismuto 209,0	84 **Po** polônio	85 **At** astato	86 **Rn** radônio
87 **Fr** frâncio	88 **Ra** rádio	89-103 actinídios	104 **Rf** rutherfórdio	105 **Db** dúbnio	106 **Sg** seabórgio	107 **Bh** bóhrio	108 **Hs** hássio	109 **Mt** meitnério	110 **Ds** darmstádtio	111 **Rg** roentgênio	112 **Cn** copernício	113 **Nh** nihônio	114 **Fℓ** fleróvio	115 **Mc** moscóvio	116 **Lv** livermório	117 **Ts** tennesso	118 **Og** oganessônio

57 **La** lantânio 138,9	58 **Ce** cério 140,1	59 **Pr** praseodímio 140,9	60 **Nd** neodímio 144,2	61 **Pm** promécio	62 **Sm** samário 150,4	63 **Eu** európio 152,0	64 **Gd** gadolínio 157,3	65 **Tb** térbio 158,9	66 **Dy** disprósio 162,5	67 **Ho** hôlmio 164,9	68 **Er** érbio 167,3	69 **Tm** túlio 168,9	70 **Yb** itérbio 173,1	71 **Lu** lutécio 175,0
89 **Ac** actínio	90 **Th** tório 232,0	91 **Pa** protactínio 231,0	92 **U** urânio 238,0	93 **Np** netúnio	94 **Pu** plutônio	95 **Am** amerício	96 **Cm** cúrio	97 **Bk** berquélio	98 **Cf** califórnio	99 **Es** einstênio	100 **Fm** férmio	101 **Md** mendelévio	102 **No** nobélio	103 **Lr** laurêncio

Fonte: IUPAC. **Periodic table of the elements**. Disponível em: https://iupac.org/wp-content/uploads/2022/05/IUPAC_Periodic_Table_150-04May22.jpg. Acesso em: 18 out. 2024.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

RESPOSTAS

Seguem as respostas das atividades de cálculo e de múltipla escolha. No Suplemento para o professor, você encontrará as resoluções e as orientações adicionais de todas as atividades.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO 1

Aplique e registre

4. Alternativa **c**.

6. Alternativa **d**.

Atividades de fechamento

1. Alternativa **b**.

3. Alternativa **b**.

CAPÍTULO 2

Aplique e registre

2. Alternativa **c**.

4. Alternativa **e**.

5. Alternativa **c**.

Atividade de fechamento

2. Alternativa **d**.

CAPÍTULO 3

Aplique e registre

1. Alternativa **d**.

3. Alternativa **a**.

5. Alternativa **c**.

6. Alternativa **d**.

Atividades de fechamento

1. Alternativa **c**.

2. Alternativa **d**.

CAPÍTULO 4

Aplique e registre

3. 2 moléculas de amônia; $18 \cdot 10^{23}$ moléculas de gás hidrogênio; 6 g de gás hidrogênio; 2 mol de moléculas de amônia; 6 mol de moléculas de gás nitrogênio; 12 mol de moléculas de amônia; $60 \cdot 10^{23}$ moléculas de nitrogênio; 340 g de amônia.

4. **a.** 112 kg
b. 24 kg
c. 4 mol

5. Alternativa **a**.

6. Alternativa **c**.

7. 68 g

8. 225 kg

Atividades de fechamento

1. Massa de CO_2: 30,3 g. Quantidade de H_2O: 0,86 mol.

2. Alternativa **e**.

4. Experimento 2: 0,0; experimento 3: 0,006 g; experimento 4: 0,005 g.
a. $2\ H_2(g) + O_2(g) \rightarrow H_2O(v)$
b. A lei da conservação da massa.
c. 0,080 g
d. 1,8 g

5. **a.** 1,05 t
b. Nb_2O_5
c. Alumínio. $3,3 \cdot 10^{28}$ átomos de Aℓ.

6. Alternativa **d**.

7. **a.** 2,4 t **b.** 0,1 t **c.** 96%

8. Alternativa **b**.

9. **I.** 75% **II.** 132 g **III.** 67,2 L

CAPÍTULO 5

Aplique e registre

2. 67,5 kcal mol^{-1}

3. 13 kcal

5. Alternativa **d**.

6. Combustão completa:
$\Delta H = -529$ kcal mol^{-1}
Combustão incompleta:
$\Delta H = -325$ kcal mol^{-1}
A produção de energia por meio da combustão incompleta é quase 40% menor.

7. −134 kJ/mol; exotérmica.

8. −74,6 kcal mol^{-1}; exotérmica.

10. $\Delta H_r = -21$ kJ mol^{-1}

Atividades de fechamento

2. Alternativas **a** e **c**.

4. Alternativa **b**.

5. A planta vai absorver $2,8 \cdot 10^6$ J de energia. O calor envolvido nessa reação é $+1,4 \cdot 10^6$ J.

6. Alternativa **e**.

7. **a.** $\Delta H_r = +160$ kJ mol^{-1}.
b. Construção de diagrama.

8. $\Delta H_c = -1.453$ kJ

9. Alternativa **b**.

10. Alternativa **b**.

CAPÍTULO 6

Aplique e registre

1. S_8: nox zero.
SO_2: nox +4.
H_2SO_4: nox +6.

2. Alternativa **a**.

3. **a.** N: nox −3 nos reagentes e 0 nos produtos; H: nox +1 nos reagentes e nos produtos; Cℓ: nox +7 nos reagentes e −1 nos produtos; O: nox −2 nos reagentes e 0 nos produtos.

5. A ddp = +0,44 V, a reação se processa de maneira espontânea.

Atividades de fechamento

4. **a.** $E° = -0,22$ V; $E° = +0,62$ V
b. $\Delta E° = +0,84$ V

5. Alternativa **c**.

6. Alternativa **a**.

8. +0,76 V, +1,1 V e −0,9 V.

CAPÍTULO 7

Aplique e registre

2. **a.** $E°_{oxi} = +0,13$ V

3. $E°_{red} = +0,74$ V

6. Alternativa **e**.

Atividades de fechamento

3. Alternativa **e**.

4. **b.** $E°_{pilha} = +1,24$ V

6. Alternativa **c**.

CAPÍTULO 8

Aplique e registre

1. Alternativa **b**.

3. Alternativa **b**.

7. Alternativa **b**.

Atividades de fechamento

1. Alternativa **b**.

5. Alternativa **b**.

CAPÍTULO 9

Aplique e registre

2. Textos que completam as lacunas do quadro: primeira linha: 100, homogêneo; segunda linha: 1.000, heterogêneo; terceira linha: 640, homogêneo; e quarta linha: 1.600, heterogêneo.

4. Alternativa **d**.

6. Textos que completam as lacunas do quadro: primeira linha: 2.000.000 L; segunda linha: 0,05 mg; terceira linha: 0,06 g; e quarta linha: 40.000.000 cm^3.

7. 10 L da água mineral por dia.

8. Alternativa **a**.

Atividades de fechamento

1. Alternativa **b**.

3. **a.** A solubilidade do nitrato de chumbo(II) a 20 °C em 100 g de água é de ≃ 56 g. Portanto, dos 75 g de $Pb(NO_3)_2$ adicionados, ≃ 56 g serão dissolvidos e o excedente de ≃ 19 g permanecerá como corpo de fundo na solução. A solução é saturada.

b. Como a cada 100 g de água é possível dissolver até ≃ 56 g de $Pb(NO_3)_2$, a quantidade proporcional de água necessária para dissolver 75 g de nitrato de chumbo(II) é ≃ 134 g de água.

7. **a.** 1: gás oxigênio; 2: gás nitrogênio; 3: gás hélio.

b. A 1 atm a dissolução é maior.

c. Para o oxigênio, tem-se: $s = 2{,}6 \cdot 10^{-4}$ mol L^{-1}. Para o nitrogênio, tem-se: $s = 5{,}6 \cdot 10^{-4}$ mol L^{-1}.

CAPÍTULO 10

Aplique e registre

3. Alternativa **c**.

6. **a.** $i(C_6H_{12}O_6) = 1$.

b. $i(H_3PO_4) = 1{,}8$.

Atividades de fechamento

1. Alternativa **a**.

2. Alternativa **b**.

3. Alternativa **e**.

4. Alternativa **c**.

6. Alternativa **e**.

CAPÍTULO 11

Aplique e registre

1. **b.** T_f (0 a 4 min) = 0,04 g min^{-1};

T_f (12 a 16 min) = 0,005 g min^{-1}.

2. Alternativa **e**.

3. **b.** $T_{m(reação)} = 1{,}5 \cdot 10^{-2}$ mol L^{-1} min^{-1}

7. Alternativa **a**.

8. Alternativa **a**.

9. Alternativa **b**.

10. Alternativa **d**.

Atividades de fechamento

3. Alternativa **a**.

5. Alternativa **d**.

7. **a.** 0,3 mol s^{-1}

b. 5 mol de HCℓ

10. **b.** $T_{m(0-1\ dia)} = 2\%$/dia;

$T_{m(0-5\ dias)} = 3\%$/dia;

$T_{m(0-10\ dias)} = 4\%$/dia;

$T_{m(0-20\ dias)} = 5\%$/dia

CAPÍTULO 12

Aplique e registre

3. Alternativa **a**.

4. $K_c = 3{,}77$.

Atividades de fechamento

1. Alternativa **b**.

2. 02 + 08 = 10

5. **a.** $K_c \simeq 236$

b. $K_c \simeq 4 \cdot 10^{-3}$

CAPÍTULO 13

Aplique e registre

4. O nome sistemático a ser indicado é 3,7,11-trimetildodeca-1,3,6,10-tetraeno.

5. Alternativa **a**.

6. Alternativa **e**.

7. Alternativa **a**.

Atividades de fechamento

1. Alternativa **d**.

2. Alternativa **d**.

3. Alternativa **d**.

9. A zeaxantina apresenta 4 átomos de hidrogênio a mais que a astaxantina e 2 átomos de oxigênio a menos.

CAPÍTULO 14

Aplique e registre

1. Alternativa **d**.

2. Alternativa **b**.

4. Alternativa **b**.

5. Alternativa **e**.

Atividades de fechamento

2. Alternativa **a**.

3. **I.** Falsa. **II.** Verdadeira. **III.** Falsa. **IV.** Verdadeira.

4. **a.** Maior acidez: Piracicaba (pH = 4,5); menor acidez: Cubatão (pH > 5,5).

b. A água da chuva de Piracicaba é no mínimo 10 vezes mais ácida do que a água da chuva de Cubatão.

CAPÍTULO 15

Aplique e registre

2. Alternativa **a**.

4. **I.** Verdadeira; **II.** Falsa; **III.** Falsa.

Atividades de fechamento

1. Alternativa **b**.

2. Alternativa **a**.

5. Alternativa **d**.

6. **a.** A: CH_3NH_2; B: C_2H_6NH; C: C_3H_9N

c. A e B: ligação de hidrogênio; C: forças de Keesom.

d. As moléculas de C são menos solúveis em água.

CAPÍTULO 16

Aplique e registre

2. Alternativa **d**.

Atividades de fechamento

1. Alternativa **d**.

2. Alternativa **d**.

CAPÍTULO 17

Aplique e registre

1. Compostos I, II e IV.

2. Não, pois um dos átomos de carbono da dupla ligação está conectado a dois grupos iguais.

6. Alternativa **d**.

Atividades de fechamento

1. Alternativa **d**.

2. Alternativa **e**.

4. Alternativa **d**.

6. Alternativa **e**.

CAPÍTULO 18

Aplique e registre

6. Alternativa **b**.

Atividades de fechamento

1. Alternativa **e**.

2. **a.** C_6H_7N

b. 1ª etapa: nitração do benzeno para formar nitrobenzeno. 2ª etapa: redução do grupo nitro para formar anilina.

CAPÍTULO 19

Aplique e registre

3. **a.** C_4H_8O

b. Não há outra posição possível para o grupo carbonila.

7. Peças: 4, 2 e 6; 1, 2 e 6.

9. Alternativa **d**.

10. 31%

11. **a.** 66%

b. Não, essa refeição contém 4,35 g de sal.

Atividades de fechamento

1. Alternativa **a**.

2. Alternativa **d**.

3. **a.** $C_{18}H_{36}O_2$

b. Ele é insolúvel em água.

4. **a.** Construção de esquema.

b. Ligação peptídica.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

5. Alternativa **b**.

6. Energia total = 1.136 kJ. Tempo de corrida ≃ 24 min.

7. **a.** A diversidade de arranjos entre os aminoácidos.

b. 80

9. Alternativa **b**.

CAPÍTULO 20

Aplique e registre

1. **a.** Suco de tomate: pH ≃ 4,6 < 6 ⇒ amarelo.

Água da chuva: pH ≃ 5,6 < 6 ⇒ amarelo.

Água do mar: pH ≃ 8,2 > 7,6 ⇒ azul.

b. O suco de tomate é 10 vezes mais ácido que a água da chuva.

c. $10^{-5,8}$ mol L^{-1}

4. Alternativa **a**.

6. $27S^4$

Atividades de fechamento

1. Alternativa **d**.

2. Alternativa **c**.

3. Alternativa **e**.

4. $K_a(HX) > K_a(HZ)$

8. 0,056 mol L^{-1}

9. **a.** pH = 6,56

b. Sim. pH = 6,71

11. Alternativa **e**.

12. **a.** $SrCO_3$

b. $[CO_3^{-2}] = 1,0 \cdot 10^{-3}$ mol L^{-1}

CAPÍTULO 21

Aplique e registre

1. **a.** Falsa. **b.** Falsa. **c.** Verdadeira.

3. Alternativa **a**.

Atividades de fechamento

2. Alternativa **e**.

3. Alternativa **d**.

7. **a.** 650-950 nm

CAPÍTULO 22

Aplique e registre

2. Alternativa **e**.

3. Alternativa **a**.

4.

Combinação	Massa de Aℓ (g)	Carga (C)	Corrente (A)	Tempo (s)
A	135	1.447.500	2	723.750
B	0,45	4.825	50	96,5
C	9	96.500	5	19.300

5. C < D < B < A.

6. Cátodo. 16,35 g de Zn.

7. ≃ 145 s

Atividades de fechamento

4. **a.** 20 pilhas

b. 3,175 g

6. Alternativa **a**.

8. Alternativa **a**.

9. Alternativa **d**.

CAPÍTULO 23

Aplique e registre

2. Alternativa **d**.

3. 80%

4. 11,9 °GL

5. 0,005 ppm

6. 30 mL

7. Alternativa **a**.

8. $TE_i < TE_{iii} < TE_{ii}$

9. 0,10 mol L^{-1}

Atividades de fechamento

1. Alternativa **e**.

2. I: água. II: metanol. III: etanol.

4. Verdadeiras: I e III.

5. Concentração 9.000 ppm.

6. $V = 454,2$ mL

7. $t \simeq 51$ min

8. **a.** Solução de NaCℓ.

b. Solução de glicose.

9. **a.** Entre 0 °C e 4 °C.

b. Não, seria água líquida a 0 °C.

10. **a.** Volumetria de neutralização ou titulação.

b. $HC\ell(aq) + KOH(aq) \rightarrow KC\ell(aq) + H_2O(\ell)$

c. c(inicial) = 0,25 mol L^{-1}

CAPÍTULO 24

Aplique e registre

1. Alternativa **c**.

2. $BaSO_4$

5. Alternativa **d**.

8. **a.** Verdadeira.

b. Falsa.

c. Falsa.

d. Verdadeira.

Atividades de fechamento

1. Alternativa **e**.

2. HCℓ, HBr, HI ou H_2SO_4.

3. $Pb(IO_3)_2$

5. $K_s(AgC\ell) \simeq 1,32 \cdot 10^{-9}$

6. $[CaSO_4] \simeq 4,9 \cdot 10^{-3}$ mol L^{-1}

8. Alternativa **d**.

9. Alternativa **d**.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS COMENTADAS

AMERICAN CHEMICAL SOCIETY. **Química para um futuro sustentável**. Tradução: Ricardo Bicca de Alencastro. 8. ed. Porto Alegre: AMGH, McGraw-Hill Companies, Inc., 2016.

O livro aborda conteúdos básicos de Química sob a perspectiva da sustentabilidade.

ATKINS, P.; DE PAULA, J. **Physical Chemistry**. 7th ed. New York: W. H. Freeman and Company, 2003.

O livro apresenta os conceitos aprofundados e as deduções das equações da Físico-química.

ATKINS, P.; JONES, L.; LAVERMANN, L. **Chemical Principles**: The Quest for Insight. 7th ed. New York: W. H. Freeman and Company, 2016.

A obra apresenta os principais conceitos estudados em Química.

BARÃO, M.; RESEGUE, M.; LEAL, R. (coord.). **Atlas das juventudes**: evidências para a transformação das juventudes. Disponível em: https://atlasdasjuventudes.com.br/wp-content/uploads/2021/11/ATLAS-DAS-JUVENTUDES-2021-COMPLETO.pdf. Acesso em: 29 out. 2024.

O relatório apresenta dados e informações detalhadas da realidade das juventudes brasileiras.

BRANCO, S.; MAGRANI, E. (coord.). **Inteligência artificial**: aplicações e desafios. Rio de Janeiro: Oblig, 2022.

O livro traz um debate sobre a inteligência artificial e suas implicações no cenário brasileiro mediante os regulamentos existentes.

BRASIL. **Manual de educação para o consumo sustentável**. Brasília, DF: MMA, MEC, IDEC, 2005. Disponível em: http://www.idec.org.br/uploads/publicacoes/publicacoes/Manual_completo.pdf. Acesso em: 11 out. 2024.

O manual visa ao fortalecimento das responsabilidades da sociedade com o exercício pleno da cidadania.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, DF: MEC, 2018.

Documento normativo que define o conjunto de aprendizagens essenciais para a Educação Básica.

BRASIL. Senado Federal. O minério da vez. **Em discussão!**, Brasília, DF, v. 4, n. 17, set. 2013.

Essa edição da revista apresenta as principais aplicações das terras-raras e as propostas de ampliação da participação do país no mercado mundial.

BROWN, T. L. *et al.* **Chemistry**: The Central Science. 14th ed. New York: Pearson, 2018.

O livro apresenta os conceitos de Química, incentivando os estudantes dessa ciência a pensar como pesquisadores.

BROWN, T. L. *et al.* **Química**: a ciência central. Tradução: Eloiza Lopes, Tiago Jonas e Sonia M. Yamamoto. 13. ed. São Paulo: Pearson, 2016.

O livro apresenta os conceitos de Química, incentivando os estudantes dessa ciência a pensar como pesquisadores.

BRUICE, P. Y. **Química orgânica**. 4. ed. São Paulo: Pearson Education, 2003.

O livro apresenta diferentes recursos visuais para facilitar o entendimento dos mecanismos de reações orgânicas.

CHANG, R.; GOLDSBY, K. A. **Química**. 11. ed. Porto Alegre: AMGH, 2010.

O livro aborda os aspectos gerais da Química, introduzindo os conceitos fundamentais dessa ciência.

CUNNINGHAM, W. P.; CUNNINGHAM, M. A. **Principles of Environmental Science**: Inquiry and Applications. New York: McGraw-Hill, 2002.

O livro traz uma visão atualizada e introdutória de temas essenciais em Ciências Ambientais.

DAZZANI, M.; CORREIA, P. R. M. Explorando a Química na determinação do teor de álcool na gasolina. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 17, maio 2003. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc17/a11.pdf. Acesso em: 11 out. 2024.

O artigo apresenta um roteiro de aula experimental que tem como objetivo avaliar a quantidade de álcool presente em amostras de gasolina.

DEGANI, A. L. G.; CASS, Q. B.; VIEIRA, P. C. Cromatografia: um breve ensaio. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 7, p. 21-25. 1998.

O artigo aborda os conceitos básicos dos diferentes tipos de análise cromatográfica.

FERRARI, A. C.; OCHS, M.; MACHADO, D. **Guia da educação midiática**. 1. ed. São Paulo: Instituto Palavra Aberta, 2020.

Livro que convida a refletir sobre a importância de preparar os jovens para lidar com as mídias de maneira crítica e responsável.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

FERREIRA, G. M. L. **Atlas geográfico**: espaço mundial. São Paulo: Moderna, 2010.

O atlas apresenta mapas atualizados, imagens de satélites, gráficos, temáticas socialmente relevantes que auxiliam na assimilação de conceitos.

FERREIRA, H. S.; RANGEL, M. C. Nanotecnologia: aspectos gerais e potencial de aplicação em catálise. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 7, 2009.

O artigo faz um levantamento sobre os conceitos envolvidos na síntese e na aplicação de nanocatalisadores.

GREENPEACE BRASIL. A tragédia dos Munduruku, 30 set. 2019. Disponível em: https://www.greenpeace.org/brasil/blog/a-tragedia-dos-munduruku/. Acesso em: 10 out. 2024.

O *site* apresenta o garimpo ilegal e os riscos de contaminação de dezenas de aldeias situadas em três dos principais rios da Terra Indígena.

IUPAC. **Symbols, Units, Nomenclature and Fundamental Constants in Physics**. 1987 Revision. Disponível em: https://archive2.iupap.org/wp-content/uploads/2014/05/A4.pdf. Acesso em: 18 out. 2024.

O livro apresenta recomendações para símbolos, unidades, nomenclatura e constantes fundamentais, aprovados em conjunto com diversos órgãos em assembleias realizadas de 1948 a 1984.

KOTZ, J. C.; TREICHEL, P. M.; WEAVER, G. C. **Química geral e reações químicas**. Tradução: Flávio M. Vichi e Solange A. Visconte. 6. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

O livro introduz a Química com uma linguagem simples, que facilita a aprendizagem.

LEE, J. D. **Química inorgânica não tão concisa**. Tradução: Henrique E. Toma, Koiti Araki e Reginaldo C. Rocha. 5. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

O livro apresenta os principais conceitos da Química inorgânica, abordando a teoria das ligações químicas e a formação de compostos de cada grupo da tabela periódica.

LIDE, D. R. **CRC Handbook of Chemistry and Physics**. 104th ed. Boca Raton: CRC Press, Taylor and Francis, 2024.

Livro de referência na área de Ciências da Natureza sobre recomendações internacionais de nomenclaturas, símbolos e unidades de medida.

LOPES, W. A.; ANDRADE, J. B. Fontes, formação, reatividade e quantificação de hidrocarbonetos policíclicos (HPA) na atmosfera. **Química Nova**, São Paulo, v. 19, n. 5, 1996.

O artigo apresenta aspectos históricos e científicos da liberação dos hidrocarbonetos policíclicos aromáticos no ambiente.

MANAHAN, S. E. **Química Ambiental**. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

O livro aborda temas atuais sobre Ecologia, processos produtivos, controle de substâncias danosas ao ambiente e aos seres vivos, mudanças climáticas, entre outros.

MARTINS, M. A.; TRINDADE, T. Os nanomateriais e a descoberta de novos mundos na bancada do químico. **Química Nova**, São Paulo, v. 35, n. 7, 2012.

O artigo aborda os aspectos históricos e as principais rotas de síntese de nanopartículas metálicas e magnéticas, bem como a modificação superficial de nanopartículas inorgânicas.

MARZZOCO, A.; TORRES, B. B. **Bioquímica básica**. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2015.

O livro trata de conceitos básicos e fundamentais da Bioquímica.

McMURRY, J.; FAY, R. C. **Chemistry**. 4th ed. New Jersey: Prentice Hall, 2003.

O livro de Química Geral apresenta os conceitos básicos da área com ilustrações moleculares para facilitar a aprendizagem dos estudantes.

NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de Bioquímica de Lehninger**. Tradução: Arnaldo Antônio Simões, Wilson Roberto Navega Lodi. 3. ed. São Paulo: Worth Publisher, 2000.

O livro apresenta detalhamento na abordagem de conceitos mais complexos da Bioquímica com riqueza de detalhes sobre aplicações e avanços tecnológicos dessa área de estudos.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. Brasília, DF, [2024]. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/sdgs. Acesso em: 10 out. 2024.

No *site*, é possível conhecer os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e as atividades realizadas no Brasil.

PACHECO, S. *et al.* História da cromatografia líquida. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 4, 2015. Disponível em: http://static.sites.sbq.org.br/rvq.sbq.org.br/pdf/v7n4a13.pdf. Acesso em: 10 out. 2024.

O artigo explora o desenvolvimento da técnica de cromatografia líquida e seus principais desafios analíticos.

POLIAKOFF, M.; LICENCE, P. Sustainable Technology: Green Chemistry. **Nature**, n. 450, p. 810-812, dez. 2007.

O artigo aborda os princípios da Química Verde na produção de compostos, utilizando processos industriais sustentáveis.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

PREVALÊNCIA DO TABAGISMO. Brasília, 19 out. 2022. Disponível em: https://www.gov.br/inca/pt-br/assuntos/gestor-e-profissional-de-saude/observatorio-da-politica-nacional-de-controle-do-tabaco/dados-e-numeros-do-tabagismo/prevalencia-do-tabagismo. Acesso em: 18 out. 2024.

A reportagem apresenta informações estatísticas sobre a prevalência do tabagismo no Brasil.

REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 12. ed. Porto Alegre: Artmed, 2022.

A obra, que se tornou um clássico para o ensino, apresenta a visão científica e pedagógica sobre conceitos das Ciências Biológicas.

REBOUÇAS, A.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas doces no Brasil**: capital ecológico, uso e conservação. 4. ed. São Paulo: Escrituras, 2015.

O livro aborda questões relativas ao uso e à qualidade da água no Brasil. Além disso, apresenta informações sobre a demanda mundial de água e o desenvolvimento sustentável como alternativa para preservar esse recurso natural.

ROYAL SOCIETY OF CHEMISTRY. Periodic Table. Disponível em: https://www.rsc.org/periodic-table/element/5/boron. Acesso em: 18 out. 2024.

Essa página *web* contém dados sobre o elemento químico boro, como a data em que foi identificado, dados de temperaturas de fusão e ebulição, densidade, configuração eletrônica no estado fundamental entre outros.

RUSSEL, J. B. **Química geral**. 2. ed. São Paulo: Makron Books, 2006.

O livro aborda conceitos das áreas de Química, com inúmeros exemplos de aplicações na área industrial.

SILVA, L. A.; MARTINS, C. R.; ANDRADE, J. B. Por que todos os nitratos são solúveis? **Química Nova**, São Paulo, v. 27, n. 6, 2004.

Por meio da análise das propriedades termodinâmicas, o artigo aborda a solubilidade de nitratos em solução aquosa do ponto de vista micro e macroscópico.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA. **Química Nova na Escola**, São Paulo. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/cadernos.php. Acesso em: 10 out. 2024.

A revista reúne artigos sobre assuntos diversos e relevantes, como recursos minerais, água e meio ambiente e Química Ambiental.

SOLOMONS, T. W. G.; FRYHLE, C. **Organic Chemistry**. 10th ed. New York: John Wiley & Sons, 2011.

O livro aborda os conceitos fundamentais da área da Química orgânica.

STORGATTO, G. A.; BRAIBANTE, M. E. F.; BRAIBANTE H. T. S. A Química na Odontologia. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 39, n. 1, 2017.

O artigo aborda desde os conceitos acerca do processamento radiográfico odontológico até a composição de analgésicos e materiais utilizados na restauração dentária.

TAKITANE, J. *et al*. Determination of Amphetamine, Amfepramone and Fenproporex in Urine Samples by HPLCDAD: Application to a Population of Brazilian Truck Drivers. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 27, n. 3, 2016.

O artigo apresenta o desenvolvimento de uma técnica de análise por cromatografia líquida para a identificação de anfetaminas e outras drogas estimulantes em amostras de urina.

TOMA, H. E. **O mundo nanométrico**: a dimensão do novo século. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

O livro apresenta os avanços e os desafios envolvidos na síntese e na aplicação de nanopartículas.

TOULMIN, S. E. **Os usos do argumento**. Tradução: Reinaldo Guarany e Marcelo Brandao Cipolla. 2. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2006.

O livro trata do uso do argumento em diferentes campos, seguindo um modelo composto de elementos fundamentais que formam uma estrutura básica.

VASCONCELLOS, P. C. *et al*. Chromatographic Techniques for Organic Analytes. *In*: FORBES, P. B. C. (ed.). **Comprehensive Analytical Chemistry**. Amsterdam: Elsevier, 2015. p. 267-309.

O capítulo do livro descreve o desenvolvimento de novas tecnologias de análise cromatográfica aplicadas a diferentes classes de compostos orgânicos.

VILLULLAS, H. M.; TICIANELLI, E. A.; GONZÁLEZ, E. R. Células a combustível: energia limpa a partir de fontes renováveis. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 15, maio 2002.

O artigo aborda a geração de energia por meio de fontes de energia limpa e renovável, apresentando o funcionamento e as aplicações de células a combustível.

VOLLHARDT, P.; SHORE, N. **Química orgânica**: estrutura e função. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

O livro trata de conceitos de Química orgânica e traz uma introdução às aplicações biológicas, médicas e industriais dessa área.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

SUPLEMENTO PARA O PROFESSOR

Caro Professor,

A elaboração da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) trouxe mudanças significativas para toda a área educacional. Não somente o papel da escola e a atuação de professores e estudantes precisam ser ressignificados, mas também o material didático. O documento deixa explícita a necessidade de

> [...] superação da fragmentação radicalmente disciplinar do conhecimento, o estímulo à sua aplicação na vida real, a importância do contexto para dar sentido ao que se aprende e o protagonismo do estudante em sua aprendizagem e na construção de seu projeto de vida (BRASIL, 2018, p. 15).

Tendo em vista esse contexto, o novo Ensino Médio pretende atender às necessidades e às expectativas dos estudantes, fortalecendo seu interesse, seu engajamento e seu protagonismo e visando garantir sua permanência e sua aprendizagem na escola. Também busca assegurar o desenvolvimento de conhecimentos, habilidades, atitudes e valores capazes de formar novas gerações aptas para lidar com desafios pessoais, profissionais, sociais, culturais e ambientais do presente e do futuro, considerando a intensidade e a velocidade das transformações que marcam as sociedades na contemporaneidade.

Assim, o estudo das Ciências da Natureza e suas Tecnologias é indispensável na sociedade contemporânea em razão da influência que essas ciências exercem no cotidiano de todos. Os conhecimentos nessa área atuam em diferentes aspectos, que abrangem desde noções básicas sobre o funcionamento dos organismos e dos objetos até melhoria da qualidade de vida, manutenção do ambiente e geração de energia para todos. Portanto, compreender as mudanças geradas por influência da Ciência e da Tecnologia, refletir e agir mediante conhecimentos científicos adquiridos no decorrer da vida escolar são atitudes essenciais na formação de todos os estudantes brasileiros.

Desse modo, o ensino de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, em todas as etapas da Educação Básica, necessita abordar conceitos, leis, teorias e modelos com foco no desenvolvimento de competências e habilidades, além de permitir que os estudantes compreendam, interpretem e apliquem os conhecimentos científicos na resolução de problemas individuais e coletivos em diferentes esferas da vida. Ou seja, ao mesmo tempo que o ensino se compromete com o letramento científico, ele deve estimular os estudantes a investigar, a analisar e a discutir as problemáticas que podem surgir de diferentes contextos socioculturais.

Com isso em mente, procuramos, neste Suplemento, apresentar a você, professor, as escolhas teórico-metodológicas que embasam a Coleção e, sobretudo, apoiá-lo no processo de mediação entre o conteúdo científico e as práticas cotidianas vivenciadas pelos estudantes. Buscamos também inspirar sua prática docente, viabilizando um diálogo constante entre as nossas propostas, as suas perspectivas pedagógicas e o contexto sociocultural dos estudantes. Como resultado dessa interação, as possibilidades sugeridas se multiplicam, pois, quando somadas às suas experiências e aos seus conhecimentos, elas poderão efetivamente contribuir para o ensino de Ciências mais significativo que todos almejamos.

Para facilitar a organização das informações, dividimos este Suplemento em Orientações gerais e Orientações específicas. Nas Orientações gerais: a) apresentamos a organização e a proposta da Coleção, explicando a estruturação dos volumes à luz dos pressupostos teórico-metodológicos que embasaram sua elaboração; b) destacamos como a Coleção se articula com esses referenciais, com a BNCC e seu material de apoio; c) exploramos sugestões de abordagem e de uso da Coleção, de acordo com algumas opções de estrutura do curso: bimestral, trimestral ou semestral. Nas Orientações específicas: a) apresentamos sugestões de organização do trabalho em sala de aula visando colaborar no planejamento, na condução e na avaliação do ensino; b) reforçamos nosso objetivo de estabelecer uma parceria valorizando seu conhecimento acerca da realidade da escola onde você e os estudantes estão inseridos.

Assim, caberá a você, professor, fazer as escolhas na busca por melhores caminhos para favorecer a aprendizagem dos educandos. Nossa função é oferecer subsídios para que siga a jornada educacional com apoio e confiança.

Conte conosco e bom trabalho!

Os Autores

SUMÁRIO

ORIENTAÇÕES GERAIS DA COLEÇÃO MP003

Formação geral básica para o Ensino Médio MP003

As competências específicas e as habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias MP004

A BNCC e os Temas Contemporâneos Transversais MP006

Organização e proposta da Coleção MP007

Organização do Livro do estudante MP008

Organização do Suplemento para o professor MP009

Sugestões de uso da Coleção MP009

Pressupostos teóricos da Coleção MP010

Aspecto teórico-metodológico na perspectiva da alfabetização científica MP010

Contextualização e interdisciplinaridade no ensino de Ciências por meio da inter-relação entre Ciência, Tecnologia e Sociedade MP011

A argumentação na perspectiva da alfabetização científica MP012

A importância das práticas investigativas para a alfabetização científica MP012

O pensamento computacional e o ensino de Ciências da Natureza MP014

Alfabetização midiática: do acesso à criação de mídias MP015

A leitura inferencial como objeto de conhecimento MP016

O jovem do Ensino Médio como protagonista MP017

Ressignificando o papel do professor e sua prática pedagógica MP018

Metodologias ativas MP018

Avaliação a serviço da aprendizagem MP019

ORIENTAÇÕES ESPECÍFICAS DO VOLUME MP021

O componente curricular Química MP021

UNIDADE 1 Universo, Terra e vida MP023

UNIDADE 2 Energia e sustentabilidade MP037

UNIDADE 3 Água e alimentos MP051

UNIDADE 4 Transformações e movimento MP064

UNIDADE 5 Saúde humana MP075

UNIDADE 6 Mundo tecnológico MP088

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS COMENTADAS MP099

REFERÊNCIAS COMPLEMENTARES COMENTADAS MP103

ORIENTAÇÕES GERAIS DA COLEÇÃO

Formação geral básica para o Ensino Médio

O novo Ensino Médio simboliza uma reforma que visa diminuir a evasão escolar e tornar a educação mais relevante e atrativa para os estudantes. Ela foi implementada com base na Lei nº 13.415/2017 e, após ampla consulta pública realizada ao longo de 2023, reestruturada pela Lei nº 14.945/2024. Conforme o Ministério da Educação, a aposta da reforma centra-se em

> [...] atender às necessidades e às expectativas dos jovens, fortalecendo o protagonismo juvenil na medida em que possibilita aos estudantes escolher o itinerário formativo no qual desejam aprofundar seus conhecimentos. Um currículo que contemple uma formação geral, orientada pela BNCC, e também itinerários formativos [...] contribuirá para maior interesse dos jovens em acessar a escola e, consequentemente, para sua permanência e melhoria dos resultados da aprendizagem.
>
> **Fonte:** BRASIL. Ministério da Educação. **Novo Ensino Médio – perguntas e respostas**. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/publicacoes-para-professores/30000-uncategorised/40361-novo-ensino-medio-duvidas. Acesso em: 3 set. 2024.

Para atender a essa nova perspectiva, a carga horária foi aumentada gradativamente de 800 para, no mínimo, 1.000 horas por ano letivo, totalizando 3.000 horas em todo o Ensino Médio. Até 2.400 horas são garantidas para a **formação geral básica**, com os conhecimentos previstos na BNCC, e o restante da jornada deve ser destinado aos **itinerários formativos**, que visam ao aprofundamento em ao menos uma das áreas de conhecimento ou à formação técnica e profissional, fomentando a escolha dos estudantes em sua trajetória escolar. Além disso, as disciplinas obrigatórias do Ensino Médio passaram a ser organizadas em quatro áreas do conhecimento, valorizando os conhecimentos de cada componente curricular com vistas ao fortalecimento das aprendizagens e à formação integral dos estudantes:

- Linguagens e suas Tecnologias (Língua Portuguesa, Língua Inglesa, Arte e Educação Física);
- Matemática e suas Tecnologias (Matemática);
- Ciências da Natureza e suas Tecnologias (Biologia, Física e Química);
- Ciências Humanas e Sociais Aplicadas (Geografia, História, Sociologia e Filosofia).

O Ensino Médio é a etapa da Educação Básica que busca o aprofundamento e a consolidação dos conhecimentos adquiridos ao longo do Ensino Fundamental, garantindo o desenvolvimento de competências necessárias para o trabalho e para o exercício da cidadania.

Esta Coleção busca oferecer a **formação geral básica** aos estudantes, por meio de competências e habilidades previstas pela BNCC para a área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, traduzindo as expectativas propostas por esse documento e atendendo às demandas contemporâneas do século XXI. Vale ressaltar que a BNCC é um documento normativo cujos propósitos são balizar a qualidade do ensino e das políticas educacionais no país e estabelecer direitos de aprendizagem e desenvolvimento comuns às diversas propostas curriculares e pedagógicas que compõem a Educação Básica no Brasil. Trata-se, portanto, da referência nacional obrigatória para embasar a elaboração de currículos e propostas pedagógicas das redes de ensino e escolas públicas e particulares do país com respeito à autonomia dessas instituições e redes.

A BNCC, organizada em competências e habilidades, direciona a formação integral dos estudantes em suas variadas dimensões – intelectual, afetiva, ética, física, cultural, sociopolítica –, levando-os a construir e compreender suas atuações em uma sociedade inclusiva e consciente. O documento apresenta **dez competências gerais** que orientam a Educação Básica e permitem o estabelecimento de um processo de continuidade com o Ensino Médio.

Competências gerais da Educação Básica

1. Valorizar e utilizar os conhecimentos historicamente construídos sobre o mundo físico, social, cultural e digital para entender e explicar a realidade, continuar aprendendo e colaborar para a construção de uma sociedade justa, democrática e inclusiva.
2. Exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e criar soluções (inclusive tecnológicas) com base nos conhecimentos das diferentes áreas.
3. Valorizar e fruir as diversas manifestações artísticas e culturais, das locais às mundiais, e também participar de práticas diversificadas da produção artístico-cultural.
4. Utilizar diferentes linguagens – verbal (oral ou visual-motora, como Libras, e escrita), corporal, visual, sonora e digital –, bem como conhecimentos das linguagens artística, matemática e científica, para se expressar e partilhar informações, experiências, ideias e sentimentos em diferentes contextos e produzir sentidos que levem ao entendimento mútuo.
5. Compreender, utilizar e criar tecnologias digitais de informação e comunicação de forma crítica, significativa, reflexiva e ética nas diversas práticas sociais (incluindo as escolares) para se comunicar, acessar e disseminar informações, produzir conhecimentos, re-

Continua

solver problemas e exercer protagonismo e autoria na vida pessoal e coletiva.

6. Valorizar a diversidade de saberes e vivências culturais e apropriar-se de conhecimentos e experiências que lhe possibilitem entender as relações próprias do mundo do trabalho e fazer escolhas alinhadas ao exercício da cidadania e ao seu projeto de vida, com liberdade, autonomia, consciência crítica e responsabilidade.
7. Argumentar com base em fatos, dados e informações confiáveis, para formular, negociar e defender ideias, pontos de vista e decisões comuns que respeitem e promovam os direitos humanos, a consciência socioambiental e o consumo responsável em âmbito local, regional e global, com posicionamento ético em relação ao cuidado de si mesmo, dos outros e do planeta.
8. Conhecer-se, apreciar-se e cuidar de sua saúde física e emocional, compreendendo-se na diversidade humana e reconhecendo suas emoções e as dos outros, com autocrítica e capacidade para lidar com elas.
9. Exercitar a empatia, o diálogo, a resolução de conflitos e a cooperação, fazendo-se respeitar e promovendo o respeito ao outro e aos direitos humanos, com acolhimento e valorização da diversidade de indivíduos e de grupos sociais, seus saberes, identidades, culturas e potencialidades, sem preconceitos de qualquer natureza.
10. Agir pessoal e coletivamente com autonomia, responsabilidade, flexibilidade, resiliência e determinação, tomando decisões com base em princípios éticos, democráticos, inclusivos, sustentáveis e solidários.

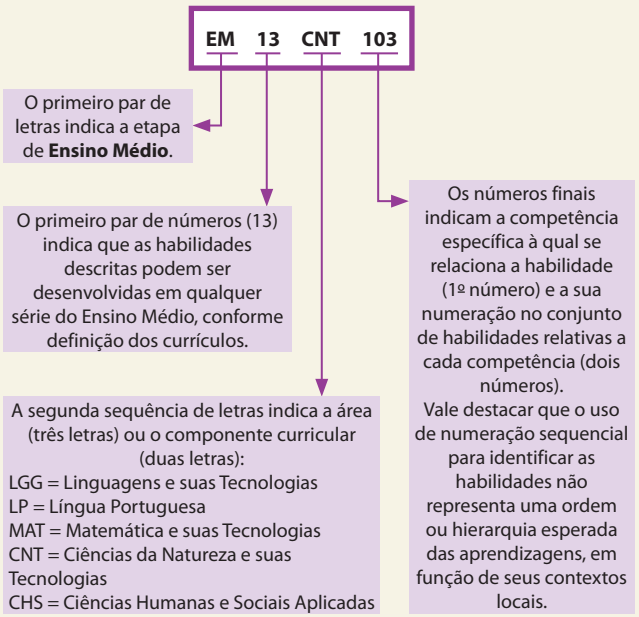
(BNCC, 2018, p. 9-10)

Vinculadas a essas competências, existem as competências específicas das diferentes áreas do conhecimento. E, por último, a BNCC traz as habilidades – agrupadas e vinculadas às competências específicas de área – que permitem definir as aprendizagens essenciais e expressar o **domínio conceitual e metodológico** a ser desenvolvido em cada área do conhecimento.

Especificamente, a proposta da BNCC para a área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias na etapa do Ensino Médio apoia-se em: **ampliação** e **sistematização** das aprendizagens essenciais desenvolvidas no Ensino Fundamental quanto aos conhecimentos conceituais da área relativos a Biologia, Física e Química; **contextualização** social, histórica e cultural da Ciência e da Tecnologia, considerando-as elementos da construção humana e, portanto, em constante transformação; **processos e práticas** da investigação científica, como identificação de problemas, formulação de hipóteses, identificação de variáveis, escolha de instrumentos e procedimentos para o teste de hipóteses, argumentação, análises quantitativa e qualitativa dos dados obtidos e conclusão acerca de fatos, fenômenos e problemáticas analisados; e **linguagens** aplicadas às Ciências da Natureza e suas Tecnologias, como códigos, símbolos, nomenclaturas e gêneros textuais importantes na compreensão da Ciência e seus procedimentos.

As competências específicas e as habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias

Cada competência específica está relacionada a um conjunto de habilidades, que representa aprendizagens essenciais a ser garantidas a todos os estudantes do Ensino Médio. Cada habilidade, além do texto geral que a define, tem um código alfanumérico, como o mostrado a seguir.



Seguem as competências específicas e as habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias para o Ensino Médio determinadas pela BNCC.

Competência específica 1

Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e global.

(EM13CNT101) Analisar e representar, com ou sem o uso de dispositivos e de aplicativos digitais específicos, as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas e em processos produtivos que priorizem o desenvolvimento sustentável, o uso consciente dos recursos naturais e a preservação da vida em todas as suas formas.

(EM13CNT102) Realizar previsões, avaliar intervenções e/ou construir protótipos de sistemas térmicos que visem à sustentabilidade, considerando sua composição e os efeitos das variáveis termodinâmicas sobre seu funcionamento, considerando também o uso de tecnologias digitais que auxiliem no cálculo de estimativas e no apoio à construção dos protótipos.

Continua

(EM13CNT103) Utilizar o conhecimento sobre as radiações e suas origens para avaliar as potencialidades e os riscos de sua aplicação em equipamentos de uso cotidiano, na saúde, no ambiente, na indústria, na agricultura e na geração de energia elétrica.

(EM13CNT104) Avaliar os benefícios e os riscos à saúde e ao ambiente, considerando a composição, a toxicidade e a reatividade de diferentes materiais e produtos, como também o nível de exposição a eles, posicionando-se criticamente e propondo soluções individuais e/ou coletivas para seus usos e descartes responsáveis.

(EM13CNT105) Analisar os ciclos biogeoquímicos e interpretar os efeitos de fenômenos naturais e da interferência humana sobre esses ciclos, para promover ações individuais e/ou coletivas que minimizem consequências nocivas à vida.

(EM13CNT106) Avaliar, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais, tecnologias e possíveis soluções para as demandas que envolvem a geração, o transporte, a distribuição e o consumo de energia elétrica, considerando a disponibilidade de recursos, a eficiência energética, a relação custo/benefício, as características geográficas e ambientais, a produção de resíduos e os impactos socioambientais e culturais.

(EM13CNT107) Realizar previsões qualitativas e quantitativas sobre o funcionamento de geradores, motores elétricos e seus componentes, bobinas, transformadores, pilhas, baterias e dispositivos eletrônicos, com base na análise dos processos de transformação e condução de energia envolvidos – com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais –, para propor ações que visem a sustentabilidade.

Competência específica 2

Analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar e defender decisões éticas e responsáveis.

(EM13CNT201) Analisar e discutir modelos, teorias e leis propostos em diferentes épocas e culturas para comparar distintas explicações sobre o surgimento e a evolução da Vida, da Terra e do Universo com as teorias científicas aceitas atualmente.

(EM13CNT202) Analisar as diversas formas de manifestação da vida em seus diferentes níveis de organização, bem como as condições ambientais favoráveis e os fatores limitantes a elas, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como *softwares* de simulação e de realidade virtual, entre outros).

(EM13CNT203) Avaliar e prever efeitos de intervenções nos ecossistemas, e seus impactos nos seres vivos e no corpo humano, com base nos mecanismos de manutenção da vida, nos ciclos da matéria e nas transformações e transferências de energia, utilizando representações e simulações sobre tais fatores, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como *softwares* de simulação e de realidade virtual, entre outros).

(EM13CNT204) Elaborar explicações, previsões e cálculos a respeito dos movimentos de objetos na Terra, no Sistema Solar e no Universo com base na análise das interações gravitacionais, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como *softwares* de simulação e de realidade virtual, entre outros).

(EM13CNT205) Interpretar resultados e realizar previsões sobre atividades experimentais, fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas noções de probabilidade e incerteza, reconhecendo os limites explicativos das ciências.

(EM13CNT206) Discutir a importância da preservação e conservação da biodiversidade, considerando parâmetros qualitativos e quantitativos, e avaliar os efeitos da ação humana e das políticas ambientais para a garantia da sustentabilidade do planeta.

(EM13CNT207) Identificar, analisar e discutir vulnerabilidades vinculadas às vivências e aos desafios contemporâneos aos quais as juventudes estão expostas, considerando os aspectos físico, psicoemocional e social, a fim de desenvolver e divulgar ações de prevenção e de promoção da saúde e do bem-estar.

(EM13CNT208) Aplicar os princípios da evolução biológica para analisar a história humana, considerando sua origem, diversificação, dispersão pelo planeta e diferentes formas de interação com a natureza, valorizando e respeitando a diversidade étnica e cultural humana.

(EM13CNT209) Analisar a evolução estelar associando-a aos modelos de origem e distribuição dos elementos químicos no Universo, compreendendo suas relações com as condições necessárias ao surgimento de sistemas solares e planetários, suas estruturas e composições e as possibilidades de existência de vida, utilizando representações e simulações, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como *softwares* de simulação e de realidade virtual, entre outros).

Competência específica 3

Investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC).

(EM13CNT301) Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica.

(EM13CNT302) Comunicar, para públicos variados, em diversos contextos, resultados de análises, pesquisas e/ou experimentos, elaborando e/ou interpretando textos, gráficos, tabelas, símbolos, códigos, sistemas de classificação e equações, por meio de diferentes linguagens, mídias, tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC), de modo a participar e/ou promover debates em torno de temas científicos e/ou tecnológicos de relevância sociocultural e ambiental.

Continua

Continuação

(EM13CNT303) Interpretar textos de divulgação científica que tratem de temáticas das Ciências da Natureza, disponíveis em diferentes mídias, considerando a apresentação dos dados, tanto na forma de textos como em equações, gráficos e/ou tabelas, a consistência dos argumentos e a coerência das conclusões, visando construir estratégias de seleção de fontes confiáveis de informações.

(EM13CNT304) Analisar e debater situações controversas sobre a aplicação de conhecimentos da área de Ciências da Natureza (tais como tecnologias do DNA, tratamentos com células-tronco, neurotecnologias, produção de tecnologias de defesa, estratégias de controle de pragas, entre outros), com base em argumentos consistentes, legais, éticos e responsáveis, distinguindo diferentes pontos de vista.

(EM13CNT305) Investigar e discutir o uso indevido de conhecimentos das Ciências da Natureza na justificativa de processos de discriminação, segregação e privação de direitos individuais e coletivos, em diferentes contextos sociais e históricos, para promover a equidade e o respeito à diversidade.

(EM13CNT306) Avaliar os riscos envolvidos em atividades cotidianas, aplicando conhecimentos das Ciências da Natureza, para justificar o uso de equipamentos e recursos, bem como comportamentos de segurança, visando à integridade física, individual e coletiva, e socioambiental, podendo fazer uso de dispositivos e aplicativos digitais que viabilizem a estruturação de simulações de tais riscos.

(EM13CNT307) Analisar as propriedades dos materiais para avaliar a adequação de seu uso em diferentes aplicações (industriais, cotidianas, arquitetônicas ou tecnológicas) e/ou propor soluções seguras e sustentáveis considerando seu contexto local e cotidiano.

(EM13CNT308) Investigar e analisar o funcionamento de equipamentos elétricos e/ou eletrônicos e sistemas de automação para compreender as tecnologias contemporâneas e avaliar seus impactos sociais, culturais e ambientais.

(EM13CNT309) Analisar questões socioambientais, políticas e econômicas relativas à dependência do mundo atual em relação aos recursos não renováveis e discutir a necessidade de introdução de alternativas e novas tecnologias energéticas e de materiais, comparando diferentes tipos de motores e processos de produção de novos materiais.

(EM13CNT310) Investigar e analisar os efeitos de programas de infraestrutura e demais serviços básicos (saneamento, energia elétrica, transporte, telecomunicações, cobertura vacinal, atendimento primário à saúde e produção de alimentos, entre outros) e identificar necessidades locais e/ou regionais em relação a esses serviços, a fim de avaliar e/ou promover ações que contribuam para a melhoria na qualidade de vida e nas condições de saúde da população.

(BNCC, 2018, p. 554-560)

A BNCC e os Temas Contemporâneos Transversais

Tendo em vista o atendimento de expectativas e demandas da geração jovem do Brasil, a BNCC destaca ainda a importância de uma abordagem integradora entre as diversas áreas do conhecimento mediante o enfoque de temas contemporâneos que afetam a vida humana em escalas local, regional e global, contextualizando aquilo que é ensinado (BRASIL, 2019):

> Os Temas Contemporâneos Transversais (TCTs) buscam uma contextualização do que é ensinado, trazendo temas que sejam de interesse dos estudantes e de relevância para seu desenvolvimento como cidadão. O grande objetivo é que o estudante não termine sua educação formal tendo visto apenas conteúdos abstratos e descontextualizados, mas que também reconheça e aprenda sobre os temas que são relevantes para sua atuação na sociedade. Assim, espera-se que os TCTs permitam ao aluno entender melhor: como utilizar seu dinheiro, como cuidar de sua saúde, como usar as novas tecnologias digitais, como cuidar do planeta em que vive, como entender e respeitar aqueles que são diferentes e quais são seus direitos e deveres, assuntos que conferem aos TCTs o atributo da **contemporaneidade**.
>
> Já o **transversal** pode ser definido como aquilo que atravessa. [...] Os Temas Contemporâneos Transversais (TCTs) são assim denominados por não pertencerem a uma disciplina específica, mas por traspassarem e serem pertinentes a todas elas. Existem distintas concepções de como trabalhá-los na escola. Essa diversidade de abordagens é positiva na medida em que possa garantir a autonomia das redes de ensino e dos professores. [...] manteve-se a orientação de que os sistemas de ensino trabalhem esses temas de forma transversal, por meio de abordagens intra, inter e transdisciplinares. [...]
>
> [...] Esses pressupostos buscam contribuir para que a educação escolar se efetive como uma estratégia eficaz na construção da cidadania do estudante e da participação ativa da vida em sociedade, e não um fim em si mesmo, conferindo a esses conteúdos um significado maior e classificando-os de fato como *Temas Contemporâneos Transversais*.

Assim, a BNCC considera quinze TCTs: Educação ambiental; Educação para o consumo; Trabalho; Educação financeira; Educação fiscal; Saúde; Educação alimentar e nutricional; Vida familiar e social; Educação para o trânsito; Educação em direitos humanos; Direitos da criança e do adolescente; Processo de envelhecimento, respeito e valorização do idoso; Diversidade cultural; Educação para valorização do multiculturalismo nas matrizes históricas e culturais brasileiras; e Ciência e Tecnologia. Esses TCTs constituem um conteúdo indispensável para a Educação Básica por contribuírem para o desenvolvimento das competências gerais e das habilidades relacionadas aos componentes curriculares. Além disso, eles oferecem a possibilidade de trabalhar valores e conceitos ligados à cidadania, salientando a importância da contextualização das problemáticas fundamentais para a vida em sociedade. Os TCTs estão distribuídos em seis macroáreas temáticas – Meio ambiente; Economia; Saúde; Cidadania e civismo; Multiculturalismo; Ciência e Tecnologia – que interligam as diferentes áreas do conhecimento a temas vividos no cotidiano em sociedade.

Garantir o trabalho com os TCTs é também uma forma de dialogar com as juventudes que estão imersas no cotidiano das

escolas. A cultura juvenil é considerada pela BNCC elemento fundamental para pensar em propostas pedagógicas na etapa do Ensino Médio. É necessário reconhecer a juventude:

> […] como condição sócio-histórico-cultural de uma categoria de sujeitos que necessita ser considerada em suas múltiplas dimensões, com especificidades próprias que não estão restritas às dimensões biológica e etária, mas que se encontram articuladas com uma multiplicidade de atravessamentos sociais e culturais, produzindo múltiplas culturas juvenis ou muitas juventudes. (BRASIL, 2018, p. 462.)

Essa abordagem, que considera o conhecimento e a formação cultural dos jovens em suas respectivas realidades, motiva as escolas a atuar como espaços de expressão da diversidade juvenil. Nesse espaço, a contextualização da teoria com a prática, aliada a uma proposta de resolução de problemas, de estímulo à investigação, de incentivo à postura empreendedora, de acesso às bases científicas e tecnológicas e de interpretação da realidade, adquire um caráter de suporte para que os jovens se reconheçam, assumam as próprias potencialidades e vocações e compreendam seu papel como participantes ativos da sociedade na qual estão inseridos.

Desse modo, tanto a escola quanto o material didático precisam assumir um novo papel coerente com as recomendações da BNCC, valorizando a formação de estudantes protagonistas, com autonomia para construir o próprio processo de aprendizagem, e capazes de assumir responsabilidades, refletir, decidir e agir de forma ativa e independente, com base em ética e respeito pelas diversidades.

Ao favorecer o desenvolvimento do jovem protagonista, é necessário lembrar que os estudantes também são fontes de conhecimento e, por isso, a escola precisa oferecer tempo e espaço para que eles compartilhem vivências, experiências e conhecimentos prévios em sala de aula e, simultaneamente, possibilitar-lhes a aquisição de novos conhecimentos. Além disso, é preciso estimular nos estudantes a criatividade e a capacidade de construir pensamentos complexos, por meio dos quais um mesmo problema possa ser abordado de diferentes perspectivas, e favorecer o desenvolvimento de um ambiente compreensivo e colaborativo, onde os estudantes possam cooperar entre si para que o processo de aprendizagem admita efetivamente o exercício de autonomia individual e cooperativa.

Organização e proposta da Coleção

Vários foram os aspectos que nortearam a organização e a seleção do conteúdo, de atividades e propostas de discussão para a Coleção, dentre eles destacam-se a BNCC e seu material de apoio e as pesquisas sobre culturas juvenis. Além dessas inspirações, é importante mencionar a relevância dos assuntos da vida cotidiana, suscitados pelos TCTs, e a abordagem dos diferentes campos das Ciências da Natureza e suas Tecnologias. Dessa forma, a Coleção articula-se ao referencial curricular nacional e pode ser considerada motivadora e significativa para os estudantes do Ensino Médio.

O diálogo entre a obra e a BNCC permeia toda a Coleção, tanto no âmbito do desenvolvimento das dez competências gerais estabelecidas pelo referencial curricular quanto nas especificidades da área das Ciências da Natureza e suas Tecnologias, criando oportunidades de mobilização de todas as competências específicas e respectivas habilidades.

Por ter caráter nacional e inspirada na BNCC, a obra traz abordagens inovadoras e tópicos conceituais contemporâneos, propondo a investigação da realidade e das características culturais, naturais, éticas e sociais locais, possibilitando uma problematização articulada às diferentes especificidades educacionais e buscando dialogar com os currículos propostos pelas redes de ensino.

Esta Coleção também busca contemplar as demandas, as motivações e as formas de participação social do jovem no século XXI em diferentes ocasiões. Segundo Jesús Martín-Barbero (BORELLI; FREIRE FILHO, 2008, p. 22), os jovens são "sujeitos íntima e estruturalmente mediados por suas interações pela e com a tecnologia". Na mesma publicação, que se tornou uma referência sobre as culturas juvenis, destaca-se uma notável pluralidade de objetos e de abordagens das práticas culturais da chamada "condição jovem". Por meio de análises de aspectos do circuito de produção e apropriação cultural juvenil, reconhecem-se as complexidades, os dilemas e as riquezas dessa faixa etária, exploram-se temas característicos – como a música, o grafite, o audiovisual, a internet e os dispositivos digitais – e articulam-se modos de pertencimento e incertezas.

Nessa perspectiva, visando atender ao que preconizam a BNCC e os TCTs e às culturas juvenis, a obra foi organizada em três volumes independentes, cada um referente a um componente curricular da área Ciências da Natureza e suas Tecnologias (Biologia, Física e Química). Além disso, cada volume é composto de seis unidades, que se repetem nos três volumes: 1. Universo, Terra e vida; 2. Energia e sustentabilidade; 3. Água e alimentos; 4. Transformações e movimentos; 5. Saúde humana; e 6. Mundo tecnológico. Cada unidade explora aspectos da área partindo de uma temática significativa à sua aplicação e à interferência efetiva na sociedade. A integração entre Biologia, Física e Química articulada a temáticas atuais e relevantes possibilita um movimento de organização e maior troca entre os professores especialistas, embora ainda permita as contribuições de cada especialidade separadamente. Essa integração não se limita à área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, pois a Coleção traz elementos para articular com outras áreas do conhecimento, propiciando abordagens integradoras e oportunidades para trocas de experiências ao longo do processo de ensino-aprendizagem.

Com base nessas escolhas, espera-se que o estudo das Ciências da Natureza e suas Tecnologias ocorra por meio da contextualização e de atividades colaborativas com viés investigativo, o que permitirá ao estudante dominar diferentes linguagens e situar-se como agente capaz de elaborar propostas de intervenção em sua realidade. De acordo com Silva (2007, p. 10),

> […] A contextualização no ensino vem sendo defendida por diversos educadores, pesquisadores e grupos ligados à educação como um "meio" de possibilitar ao aluno uma educação para a cidadania concomitante à aprendizagem significativa de conteúdos. Assim a contextualização se apresenta como um modo de ensinar conceitos das ciências ligados à vivência dos alunos, seja ela pensada como recurso pedagógico ou como princípio norteador do processo de ensino. A contextualização como princípio norteador caracteriza-se pelas relações estabelecidas entre o que o aluno sabe sobre o contexto a ser estudado e os conteúdos específicos que servem de explicações e entendimento desse contexto, utilizando-se da estratégia de conhecer as ideias prévias do aluno sobre o contexto e os conteúdos em estudo […].

Os conteúdos tradicionalmente trabalhados no Ensino Médio foram revistos, selecionados e reorganizados para atender às competências e às habilidades da BNCC para essa etapa do

ensino, às relações com os TCTs e às necessidades das temáticas escolhidas, além de estabelecer conexões entre conceitos próprios das Ciências da Natureza e suas Tecnologias e destes com diferentes áreas do conhecimento, tendo a temática central da unidade como eixo. As temáticas trabalhadas na Coleção potencializam, em seu conjunto, o desenvolvimento das competências gerais e específicas da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, preconizadas pela BNCC.

No desenvolvimento do conteúdo, buscou-se levar em consideração a progressão e o aprofundamento em relação ao conteúdo abordado na etapa do Ensino Fundamental (anos iniciais e finais), que foi considerado pré-requisito na seleção do conteúdo abordado nas temáticas propostas.

Ao longo de cada unidade da Coleção, procura-se relacionar e integrar os componentes curriculares de Ciências da Natureza e suas Tecnologias entre si e com outras áreas do conhecimento. Essa articulação colabora para que não sejam estabelecidos limites rígidos entre os componentes curriculares de Ciências da Natureza e suas Tecnologias nem entre as áreas do conhecimento, favorecendo essa percepção mais integrada pelos estudantes.

Organização do Livro do estudante

Na página inicial da **Abertura** de cada unidade, é apresentada uma imagem ou uma composição de imagens acompanhada de um breve texto em linguagem familiar ao estudante. Juntos, texto e imagem se articulam e apresentam a temática proposta, cuja abordagem pode integrar diferentes áreas do conhecimento. A atividade de leitura da imagem tem importante papel motivador, estimulando e aproximando o estudante do assunto que será abordado.

A **Abertura** traz ainda a seção **Pense nisso!**, que propõe questões que buscam fazer o estudante estabelecer relações, com apoio do texto e da imagem, entre o que ele já sabe e o que ainda será estudado, possibilitando-lhe exteriorizar seu conhecimento e, ainda, refletir sobre as concepções dos colegas. As atividades de levantamento de conhecimento prévio foram desenvolvidas considerando as habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias da etapa do Ensino Fundamental definidas pela BNCC. Esse momento é uma oportunidade para o professor de realizar a avaliação diagnóstica das concepções iniciais da turma.

Para organizar e sistematizar o conteúdo, cada unidade é subdividida em quatro capítulos. Neles, as informações são agrupadas em subtítulos e algumas palavras são destacadas para identificar os conceitos principais, o que facilita a leitura e a compreensão do texto pelo estudante. A presença de imagens, como fotografias, ilustrações, gráficos e mapas, visa esclarecer e exemplificar o conteúdo específico.

Além do texto expositivo, as unidades abrigam algumas seções cujos objetivos são: a complementação de informação (**Fique por dentro**), o trabalho com leitura inferencial, argumentação, pensamento crítico e integração com outras áreas do conhecimento (**Em foco**), o contato com procedimentos próprios do fazer científico (**Na prática**), a relação do conteúdo com culturas e vivências juvenis (**Trabalho e juventudes**), o passo a passo para resolução de uma atividade (**Atividade comentada**) e a realização de atividades sobre o conteúdo de cada capítulo (**Aplique e registre** e **Atividades de fechamento**). O material conta ainda com o boxe **Glossário**, que apresenta explicações de termos que possam ser desconhecidos pelos estudantes.

Ampliações do conteúdo e novas relações também podem ser construídas além da sala de aula com o auxílio das indicações de *sites*, filmes e simuladores, entre outros recursos, na seção **Fique por dentro**. Cada indicação é acompanhada de breve resenha e pode ser compreendida como mais um estímulo à busca autônoma de conhecimentos.

As seções **Em foco** ocorrem pelo menos uma vez por unidade. Elas trazem textos autorais ou de terceiros acompanhados de atividades que conduzem o estudante a integrar o conteúdo estudado com outras áreas do conhecimento e a exercitar a leitura inferencial, a argumentação, o pensamento crítico, a comunicação e aspectos da educação midiática.

As atividades da seção **Na prática** são diversificadas, em grupo e privilegiam o protagonismo dos estudantes. Elas incluem experimentações, situações-problema, estudos de caso e montagens de modelos, entre outras propostas. Em relação às experimentações, elas podem ser desenvolvidas em laboratório ou, se a escola não dispuser de um, em espaços adequados na própria sala de aula, com os devidos cuidados adicionais. Em nenhuma das atividades práticas sugeridas são empregadas substâncias com potencial tóxico. Informações sobre normas de segurança, regras para preparo e realização das atividades, periculosidade de determinada substância ou material e descarte de resíduos são inseridas na própria atividade e nas Orientações específicas deste Suplemento.

Nesta Coleção, procurou-se priorizar atividades práticas que vão além da mera comprovação de fatos e informações predeterminados e que favoreçam a compreensão das relações conceituais das Ciências da Natureza e suas Tecnologias, permitindo que os estudantes manipulem objetos e assimilem significados entre si e com o professor durante a aula, e propiciando uma oportunidade aos sujeitos de extrair de suas ações as consequências que lhes são próprias e aprender com os erros tanto quanto com os acertos. Há oportunidades para que os estudantes realizem observações, reúnam resultados, troquem ideias com os colegas e proponham conclusões antes de a teoria relacionada ser abordada, proporcionando a vivência das práticas e dos procedimentos científicos e, portanto, favorecendo o desenvolvimento da **competência específica 3** de Ciências da Natureza e suas Tecnologias.

Explorando mais profundamente a relação de algum tema com culturas juvenis, a seção **Trabalho e juventudes** permite aos estudantes que, em grupos, mobilizem os próprios saberes e vivências culturais e os relacionem com o conteúdo estudado. Nesse processo, eles são estimulados a refletir e tomar decisões diante de uma série de fatores, como o projeto de vida, o mundo do trabalho, o exercício da cidadania e o reconhecimento da diversidade humana e o respeito por ela.

Cada unidade contém ainda uma seção **Atividade comentada**, que aborda uma estratégia de resolução do problema proposto em alguma atividade autoral ou de vestibular/Enem. Para isso, é apresentado um passo a passo que se apoia nos pilares do pensamento computacional.

Em todos os capítulos há seções **Aplique e registre**, com atividades que possibilitam ao estudante aplicar e registrar os conhecimentos adquiridos ao longo do estudo do conteúdo. Com isso, ele pode acompanhar e avaliar o próprio desempenho. Essas seções podem, ainda, contribuir para o planejamento de recomposição de aprendizagens e para o processo de avaliação processual ou formativa.

Cada capítulo termina com a seção **Atividades de fechamento**, que propõe um conjunto diversificado de atividades para avaliação do processo de aprendizagem do estudante. Essa seção apresenta questões que abordam os assuntos trabalhados no capítulo, de modo complementar às questões da seção **Aplique e registre**. Há tanto questões autorais como aquelas provenientes do Enem e dos principais exames vestibulares do país, possibilitando o desenvolvimento de diferentes habilidades e competências pelo corpo discente.

As questões em si empregam diversas linguagens (gráficos, tabelas, textos citados, tirinhas etc.) e apresentam diferentes níveis cognitivos, tanto de baixa ordem, como entender e aplicar, quanto de alta ordem, como analisar, avaliar e criar, de acordo com a taxonomia de Bloom (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001). A escolha das atividades e o momento para sua realização devem ser avaliados pelo professor, considerando a realidade dos estudantes em sala de aula e as individualidades no processo de aprendizagem.

Ao final do último capítulo da unidade, encontra-se o quadro **Reflita sobre seu aprendizado!**, que oferece ao estudante a oportunidade de autoavaliar a aprendizagem do conteúdo desenvolvido na unidade, buscando identificar os aspectos que ainda precisam ser mais bem trabalhados. Mais do que a mera reflexão, é importante incentivar o estudante a registrar suas considerações e a compartilhá-las com os colegas e o professor, buscando estabelecer estratégias para resolução das lacunas de compreensão. Esse momento, além de propiciar o desenvolvimento de autonomia e protagonismo do estudante em relação à própria aprendizagem, pode ser entendido como uma das muitas possibilidades de avaliação continuada que fornecem subsídios à prática docente.

Cada unidade é encerrada com uma seção **Educação midiática**, que se apoia em algum tema abordado ao longo da unidade para desenvolver uma atividade relativa à alfabetização midiática e informacional (AMI). Para isso, parte-se da relação de um conteúdo de Ciências da Natureza e suas Tecnologias com o universo midiático-informacional para, então, aprofundar conceitos de AMI e conceber um produto de mídia específico pautado no uso responsável, democrático, ético e crítico dos meios de comunicação. Aspectos da educação midiática também são trabalhados em algumas atividades das seções **Em Foco**, **Na prática** e **Atividades de fechamento**.

Nas páginas finais de cada volume, são apresentadas as respostas das atividades de múltipla escolha e as respostas de atividades que requerem cálculo. Para você, professor, apresentamos neste Suplemento as resoluções comentadas de todas as atividades das unidades.

Organização do Suplemento para o professor

Este Suplemento para o professor está organizado de modo que ofereça subsídios para o melhor uso da Coleção por meio de ferramentas, instruções e atividades que gerem melhoria na qualidade do processo de ensino-aprendizagem e contribuam com seu aprimoramento didático-pedagógico.

As Orientações gerais deste Suplemento exploram a proposta didático-pedagógica da Coleção e descrevem a organização do Livro do estudante e do Suplemento para o professor. Essa seção enfatiza a importância de atividades investigativas no ensino da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, apresenta e discute diferentes metodologias de ensino e explora diversas formas, possibilidades, recursos e instrumentos de avaliação que poderão ser utilizados ao longo do processo de ensino-aprendizagem.

No início das Orientações específicas por unidade são apresentados: breve exposição da relevância das temáticas tratadas, contextualizando e justificando os conteúdos específicos da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias que serão trabalhados na unidade e dando significado ao processo de aprendizagem; considerações sobre o texto e a imagem da Abertura; e respostas e comentários referentes às questões da seção **Pense nisso!** da Abertura.

Para cada capítulo, as Orientações específicas contemplam um texto que introduz os temas abordados e os seguintes tópicos: *Objetivos de aprendizagem*; *Por dentro da BNCC*, que apresenta a relação de competências gerais e habilidades, tanto da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias quanto das demais áreas do conhecimento, e dos TCTs mobilizados; *Sugestões didáticas*, com orientações e encaminhamentos sobre o conteúdo e as seções, comentários sobre como competências e habilidades da BNCC e TCTs estão contemplados, sugestões de abordagem interdisciplinar e indicação de estratégias que promovam o protagonismo discente e dinâmicas variadas em sala de aula; *Atividades complementares*, com o intuito de ampliar as opções didáticas; e *Resoluções e comentários*, que dialogam com o professor prevendo situações que podem surgir em sala de aula, discutindo caminhos para mediar as atividades e apresentando respostas esperadas e comentadas. Há ainda, sugestões de referências suplementares, como indicações de simuladores *on-line* e leituras adicionais voltadas para a área de educação em Ciências da Natureza e suas Tecnologias, visando apoiar o trabalho com o conteúdo e as atividades propostas no Livro do estudante.

Ao final da unidade, em **Reflita sobre seu aprendizado!** é possível encontrar orientações sobre esta proposta de autoavaliação. São fornecidos também os comentários e respostas para as propostas de **Educação midiática**.

As **Atividades de fechamento** apresentadas em cada capítulo podem ser usadas como propostas de avaliação na verificação da aprendizagem dos estudantes para os principais conteúdos trabalhados.

Sugestões de uso da Coleção

No centro das mudanças do novo Ensino Médio, estão a ampliação do tempo mínimo de permanência do estudante na escola e a definição de uma nova organização curricular, mais flexível, que contempla a BNCC (formação geral básica) e oferece possibilidades de escolha aos estudantes, os itinerários formativos, com foco nas áreas de conhecimento e na formação técnica e profissional.

A flexibilização curricular demanda um material didático também flexível, que permita e apoie a implementação das mudanças e dos diversos arranjos curriculares. Nesse contexto, esta Coleção pode ser considerada um dos instrumentos de um projeto pedagógico nessa nova perspectiva, auxiliando no desenvolvimento de competências e habilidades preconizadas pela BNCC e tão necessárias aos jovens.

Cabe aos professores de Biologia, Química e Física, orientados pela coordenação pedagógica, estabelecer, nos respectivos volumes da Coleção, a ordenação dos conteúdos mais adequada e relevante para o projeto pedagógico da escola e o currículo do estado em que atua. Essa ordenação deverá levar em conta alguns aspectos, que abrangem desde características mais amplas, como a provável mudança na carga horária destinada às diferentes áreas do conhecimento, até aspectos mais particulares, como as diferenças de rendimento de uma turma para outra. Saber transitar por essas particularidades faz parte da excelência de um professor.

Pensando em um modo de auxiliar o trabalho dos professores na organização e em sua prática, apresentamos sugestões de abordagem e uso da obra, de acordo com algumas opções de estruturação de curso:

Unidades	Capítulos	Bimestres	Trimestres	Semestres
1. Universo, Terra e vida	1	1º	1º	1º
	2			
	3	2º		
	4		2º	
2. Energia e sustentabilidade	5	3º		2º
	6			
	7	4º	3º	
	8			
3. Água e alimentos	9	5º	4º	3º
	10			
	11	6º		
	12		5º	
4. Transformações e movimentos	13	7º		4º
	14			
	15	8º	6º	
	16			
5. Saúde humana	17	9º	7º	5º
	18			
	19	10º		
	20		8º	
6. Mundo tecnológico	21	11º		6º
	22			
	23	12º	9º	
	24			

As sugestões de uso da obra também admitem ordenação variada das unidades e dos capítulos. Essa ordenação deve ser adaptada de acordo com o projeto pedagógico da escola, o currículo regional e as características do grupo discente.

Pressupostos teóricos da Coleção

Esta Coleção assume os princípios norteadores preconizados pela BNCC considerando as especificidades da juventude atual. A obra é centrada na alfabetização científica e midiática por meio da abordagem da inter-relação entre a Ciência, a tecnologia e a sociedade para permitir o desenvolvimento de aspectos da prática científica, da argumentação, da leitura inferencial e do pensamento crítico, baseados em fatos e informações confiáveis, obtidos em referências científicas (livros e artigos acadêmicos), universidades, órgãos governamentais, institutos de pesquisa e organizações internacionais (ONU, OMS e Unesco, por exemplo).

A Coleção objetiva ser um instrumento para fortalecer a formação intelectual do estudante, além de promover a reflexão sobre ações individuais e coletivas dos jovens, que resultem em propostas para minimizar os problemas contemporâneos e para interagir de forma ativa na sociedade, exercendo a cidadania.

Buscamos aprofundar elementos teórico-práticos para dialogar com você, professor, sobre o papel desta Coleção no contexto da alfabetização científica e midiática no ensino de Ciências da Natureza e suas Tecnologias.

Aspecto teórico-metodológico na perspectiva da alfabetização científica

Os avanços científicos e tecnológicos são uma realidade atual e trazem implicações positivas e negativas para a sociedade. Diante desse contexto, a democratização do acesso ao conhecimento científico ocupa espaço fundamental na vida das pessoas, levando-as a compreender as questões científico-tecnológicas que as rodeiam e a intervir de modo responsável nas decisões que afetam o próprio meio. Nesse sentido, o desafio do ensino de Ciências é a formação dos estudantes em uma perspectiva de alfabetizá-los cientificamente.

Responder a esse desafio, em primeiro lugar, é resgatar a função social da educação em Ciências: formar para a cidadania. Esse conceito de cidadania está vinculado à concepção de democracia e à participação do indivíduo na sociedade (SANTOS; SCHNETZLER, 2010). Essa formação, portanto, implica fornecer aos estudantes subsídios para que possam "ampliar sua compreensão sobre a vida, o nosso planeta e o universo, bem como sua capacidade de refletir, argumentar, propor soluções e enfrentar desafios pessoais e coletivos, locais e globais" (BRASIL, 2018, p. 472).

Quando se resgata a educação científica comprometida com a cidadania, a alfabetização científica assume o papel de superar a reprodução de conceitos científicos destituídos de significados e de sentidos e levar em consideração a natureza do conhecimento científico e os impactos da Ciência e da Tecnologia na vida das pessoas. Para isso, os conteúdos específicos dos componentes curriculares da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias são apresentados em uma abordagem interdisciplinar e contextualizada, contemplando, portanto, as interações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade.

Sasseron (2015) identifica, com base em análises de estudos internacionais, três eixos estruturantes da alfabetização científica, que foram considerados na idealização e construção desta obra:

- compreensão básica de termos, conhecimentos e conceitos científicos fundamentais – a importância deles reside na necessidade exigida na sociedade de compreender conceitos-chave a fim de entender as informações e as situações do dia a dia;
- compreensão da Natureza da Ciência e dos fatores éticos e políticos que circundam sua prática – no cotidiano, sempre nos defrontamos com informações e conjuntos de novas circunstâncias que nos exigem reflexões e análises considerando o contexto. Tendo em mente a forma como as investigações científicas são realizadas, podemos encontrar subsídios para o exame de problemas do dia a dia que envolvem conceitos científicos ou conhecimentos advindos deles;
- entendimento das relações existentes entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente – reconhecimento de que quase todo evento da vida de alguém tem sido influenciado, de alguma maneira, pelas ciências e tecnologias. Tendo em mente o desejo de um futuro saudável e sustentável para a sociedade e o planeta.

Esses eixos da alfabetização científica estão permeados nesta obra. Os temas foram selecionados considerando essa articulação. As seções elaboradas também buscam promover os três eixos. A seção **Na prática** envolve os eixos "compreensão básica de termos e conceitos científicos" e "compreensão da natureza da Ciência e dos fatores que influenciam sua prática". Já a **Abertura** da unidade e as seções **Em foco**, **Trabalho e juventudes** e **Educação midiática** envolvem principalmente o "entendimento das relações entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente".

Articulados a esse tripé da alfabetização científica, Trivelato e Silva (2011) ressaltam que, para o processo de ensino-aprendizagem em Ciências da Natureza e suas Tecnologias, é necessário que o professor:

- reconheça a existência de concepções espontâneas (conhecimentos prévios) dos estudantes para vários conceitos que são trabalhados na escola;
- entenda que o processo de aprendizagem requer construção e reconstrução de conhecimentos;
- aproxime a aprendizagem de Ciências das características do trabalho científico, em que o estudante tenha possibilidade de propor questões, formular hipóteses, argumentar, buscar evidências, realizar investigações etc.;
- proponha a aprendizagem por meio de situações-problema relacionadas ao contexto sociocultural do estudante;
- reconheça o caráter social da construção do conhecimento científico;
- entenda o pluralismo que envolve o processo de ensino e aprendizagem em Ciências explorando diferentes metodologias.

Esses elementos também são incorporados na Coleção com o objetivo de auxiliar o professor nessa tarefa, trazendo questões para levantamento de conhecimentos prévios, situações-problema, relação entre Ciência e sociedade, autoavaliação do estudante e pluralismo de possibilidades metodológicas.

De modo geral, atendendo às recomendações dos documentos oficiais para a Educação Básica e inspirada nas pesquisas da área de ensino de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, a obra se pauta em elementos que buscam contribuir com a formação do estudante na perspectiva da alfabetização científica, por meio da abordagem Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), como um caminho viável à formação dos cidadãos.

Contextualização e interdisciplinaridade no ensino de Ciências por meio da inter-relação entre Ciência, Tecnologia e Sociedade

A contextualização no ensino de Ciências não se limita a abordar determinados conceitos com base em temas do cotidiano dos estudantes, mas traça paralelos entre o cotidiano deles, permeado por conhecimentos de senso comum, e os conhecimentos científicos, a fim de que esses conhecimentos possam dialogar entre si e fazer sentido para os estudantes (LINSINGEN, 2010). Além disso, muitos estudos preconizam que a apropriação de conhecimentos científicos pelo estudante tenha como pano de fundo a sua participação crítica nas questões sociais, políticas, econômicas e ambientais que permeiam a sociedade atual. Santos e Schnetzler (2010) sinalizam a importância da participação dos estudantes como sujeitos inseridos no meio natural (âmbito científico), no meio artificialmente construído (âmbito tecnológico) e no meio social (âmbito social), de modo que tenham condições de avaliar e participar das decisões que interferem no próprio contexto. Dessa forma, o ensino de Ciências, com vistas à participação social, possibilita a formação cidadã dos jovens, favorecendo o amadurecimento de uma sociedade mais democrática.

Pensar o ensino de Ciências em uma perspectiva cidadã é pensar para além dos conhecimentos específicos isolados, sendo necessário articular esses conhecimentos com os aspectos da inter-relação entre Ciência, Tecnologia e Sociedade. Essa inter-relação é a base que vai constituir a educação CTS, defendida por pesquisadores da área de ensino de Ciências.

Auler (2007) aponta alguns objetivos importantes da educação CTS: desenvolver a capacidade e o interesse dos estudantes em relacionar Ciência com aspectos tecnológicos e sociais; discutir as implicações sociais e éticas relacionadas ao uso da Ciência-Tecnologia (CT); possibilitar melhor compreensão da natureza da Ciência; formar cidadãos científica e tecnologicamente alfabetizados para capacitá-los a tomar decisões; desenvolver o pensamento crítico e a independência intelectual dos estudantes.

Buscando atender aos objetivos de uma educação CTS, Santos (2007) destaca a importância da contextualização com base em temas sociais e situações reais que, transversalmente, estejam articulados aos conceitos científicos. Nesse intento, entendemos que pensar a elaboração de materiais didáticos por meio da abordagem de temas relativos à sociedade é acreditar que assuntos, como saúde, alimentação e agricultura, recursos energéticos, indústria e tecnologia, ambiente, transferência de informação e tecnologia, ética e responsabilidade social, favorecem a assimilação, pelo estudante, dos processos biológicos, químicos e físicos envolvidos. Favorecem ainda e o debate sobre aplicações tecnológicas relacionadas ao tema, levando os estudantes à compreensão dos efeitos das tecnologias na sociedade, na melhoria da qualidade de vida das pessoas e nas suas decorrências ambientais.

Há, ainda, temáticas que envolvem questões controversas da Ciência, que podem favorecer uma discussão em sala de aula sobre diferentes pontos de vista baseados em argumentações coletivamente construídas. São temas que, além das questões sociais e políticas, englobam a ética e a moral, sendo chamadas de questões sociocientíficas (QSC). As QSC têm características controversas centradas na relação entre as inovações da Ciência e Tecnologia e seus impactos sociais. Em consonância, Silva (2016) afirma que "a riqueza em se abordar as QSC no contexto do ensino de Ciências está justamente em seu potencial problematizador e na valorização do pensar diferente. Não há uma resposta que seja correta.".

Embasadas nessas discussões, as unidades da Coleção são abordadas por meio de uma organização do conteúdo que permite o trabalho integrado entre conceitos científicos e temas de relevância social. Com isso, busca-se oferecer um conhecimento que seja significativo para professores, estudantes, família e comunidade. Atribuir sentido a esses conhecimentos é possibilitar aos indivíduos o exercício da cidadania.

A abordagem CTS representa ainda uma forma de promover o ensino interdisciplinar, como apontam Silveira, Santos e Chrispino (2019, p. 168), quando afirmam:

> Sabemos que CTS é um campo acadêmico interdisciplinar na sua essência e formado por diversas correntes de pensamentos unidos para divulgar os fatores humanos envolvidos no contexto científico-tecnológico. No ensino de Ciências, as abordagens das relações CTS aparecem como uma forma de trabalho interdisciplinar, trazendo novas possibilidades para a formação do cidadão consciente de suas ações.

Corroborando esse contexto, Bazzo, Linsingen e Pereira (2003, p. 125) afirmam:

> Os estudos CTS definem hoje um campo de trabalho recente e heterogêneo, ainda que bem consolidado, de caráter crítico a respeito da tradicional imagem essencialista da Ciência e da tecnologia, e de caráter interdisciplinar por convergirem nele disciplinas como a Filosofia e a História da Ciência e da tecnologia, a Sociologia do conhecimento científico, a teoria da educação e a Economia da mudança técnica. Os estudos CTS

> buscam compreender a dimensão social da Ciência e da tecnologia, tanto desde o ponto de vista dos seus antecedentes sociais como de suas consequências sociais e ambientais, ou seja, tanto no que diz respeito aos fatores de natureza social, política ou econômica que modulam a mudança científico-tecnológica, como pelo que concerne às repercussões éticas, ambientais ou culturais dessa mudança.

A questão que surge é saber como a interdisciplinaridade se apresenta no âmbito da abordagem CTS. Partimos da ideia da que o conceito de interdisciplinaridade não é uma nova proposta pedagógica (POMBO, 2003). Tampouco há um consenso sobre esse conceito, tendo em vista a existência de várias definições, isto é, a interdisciplinaridade se apresenta como um conceito polissêmico (FEISTEL; MAESTRELLI, 2009).

Ao tratar da diversidade de ideias e definições do conceito de interdisciplinaridade, Lima e colaboradores (2018, p. 26) mencionam:

> Apesar de inúmeros enfoques concedidos ao termo interdisciplinaridade, por diversos teóricos, a compreensão parece ser comum a todos. Entretanto, essa compreensão está na necessidade de integrar os significados na construção desses saberes e perceber que eles se relacionam nesse conjunto de ideias. [...]

Nessa multiplicidade de definições, a Coleção se aproxima da definição proposta por Fazenda (2011, p. 34), que destaca que a interdisciplinaridade consiste essencialmente:

> [...] num trabalho em comum tendo em vista a interação das disciplinas científicas, de seus conceitos e diretrizes, de suas metodologias, de seus procedimentos, de seus dados e da organização de seu ensino.

Nesse sentido, a interdisciplinaridade envolve a colaboração e a reciprocidade entre os diferentes campos do saber, permitindo trabalhar os conteúdos com base em um ensino mais sistêmico que ajude os estudantes a pensar na totalidade de saberes e nos aspectos sociais e culturais envolvidos em sua produção.

Com base na abordagem CTS, portanto, a obra favorece o despertar de um olhar crítico dos estudantes, contribuindo para o desenvolvimento da capacidade de tomada de decisão perante situações reais e baseada em diferentes questões problematizadas na obra. A **Abertura** das unidades, por exemplo, possibilita a abordagem CTS e seu conteúdo fornece subsídios para que os estudantes compreendam a problemática, identifiquem e estabeleçam relações interdiciplinares e façam conexões com a sua realidade e atuem nela.

As temáticas selecionadas para a Coleção evidenciam as complexas relações entre CTS e articulam-se ao processo de ensino-aprendizagem para a superação de problemas das abordagens pedagógicas tradicionais, fragmentadas e tecnicistas na educação científica e tecnológica. Essas temáticas trazem a complexidade das questões contemporâneas relacionadas ao campo das Ciências da Natureza e suas Tecnologias de forma contextualizada interdisciplinar, prática e aplicada. As seções **Em foco**, **Trabalho e juventudes** e algumas atividades da seção **Atividades de fechamento**, particularmente, buscam transpor a temática trabalhada na unidade em questão para a realidade do estudante e incentivar a troca de ideias e a proposição de intervenção; por meio delas, o professor pode fazer articulações dos temas propostos com algumas questões sociocientíficas que emergem de alguns temas, promovendo a reflexão, a discussão e a argumentação dos estudantes.

A abordagem CTS contemplada na Coleção vai ao encontro da função social do ensino recomendada por pesquisadores da área de ensino de Ciências e dos documentos oficiais da Educação Básica, contribuindo, assim, para a formação da autonomia crítica do estudante e para sua participação no processo democrático de tomada de decisão.

A argumentação na perspectiva da alfabetização científica

A argumentação é reconhecida como uma competência essencial no ensino de Ciências, uma vez que emerge como uma prática central da atividade científica. Segundo Sasseron (2015), a argumentação em aulas de Ciências engloba mais do que apenas características linguísticas na forma de enunciar ideias; ela é um processo de avaliação de enunciados, análise de possibilidades, refinamento de explicações e justificativas. A argumentação, portanto, pode ser considerada um ato discursivo plural pelo qual um indivíduo, ou grupo de pessoas, busca evidenciar determinado fenômeno, por meio da emissão de alegações, que devem ser amparadas por justificativas e outros elementos, conferindo-lhes validade perante determinada audiência (FERRAZ; SASSERON, 2017).

Em um artigo de revisão sobre a argumentação em situações de ensino, Erduran (*in* ERDURAN *et al.*, 2007) destaca potenciais contribuições da argumentação no processo de ensino-aprendizagem, como o desenvolvimento de habilidades comunicativas e do pensamento crítico e a colaboração da alfabetização científica. Assim, percebe-se que a competência argumentativa é um instrumento essencial para a mediação de conflitos e o pensamento crítico, habilidades desejáveis no mundo do trabalho e para a construção de consensos necessários para a vida em sociedade.

Nesse cenário, o desenvolvimento da competência de argumentação pelos estudantes é fundamental para auxiliá-los na passagem do senso comum para o saber científico, ou seja, constitui um meio de realização da alfabetização científica (PEZARINI; MACIEL, 2018). O propósito da prática argumentativa no ensino de Ciências, portanto, está na promoção de um processo de ensino-aprendizagem que, de fato, contribua para a formação cidadã, subsidiando a construção do conhecimento científico e da alfabetização científica.

Nesse contexto em que se almeja o desenvolvimento da prática argumentativa, o papel do professor é fundamental para gerar e gerenciar as interações discursivas entre os estudantes e para estabelecer um espaço interativo de argumentação colaborativa (BERLAND; HAMMER, 2012). Essa mediação pode ser incrementada por meio da utilização de perguntas, cujo objetivo é melhorar e avançar nas atividades argumentativas (MACHADO; SASSERON, 2012).

Ancorada nos pressupostos da alfabetização científica, a Coleção também propicia oportunidades para a prática argumentativa. Em vários momentos, busca-se contribuir com a construção de argumentos pelo estudante, a análise da estrutura e da qualidade de argumentos produzidos em diferentes contextos, a avaliação da credibilidade das informações recebidas e a tomada de decisões justificadas e fundamentadas com base em evidências.

A importância das práticas investigativas para a alfabetização científica

As aulas práticas e investigativas no ensino de Ciências têm importância indiscutível. Algumas principais funções das aulas práticas reconhecidas na literatura do ensino de Ciências sintetizadas por Myriam Krasilchik (2004) são:

- despertar e manter o interesse;
- envolver-se em investigações científicas;
- desenvolver a capacidade de resolver problemas;
- compreender conceitos básicos;
- formular, elaborar métodos para investigar e resolver problemas individualmente ou em grupo;
- analisar cuidadosamente resultados e significados de pesquisas, voltando a investigar caso ocorram contradições conceituais;
- compreender as limitações do uso de um pequeno número de observações para gerar conhecimento científico;
- distinguir observação de inferência, comparar crenças pessoais com compreensão científica e compreender as funções que estas exercem na Ciência;
- compreender como são elaboradas e testadas hipóteses e teorias.

Embora reconheçamos a existência de fatores limitantes para a proposição de aulas práticas na Educação Básica, como ausência de laboratório, indisponibilidade de tempo para preparação, falta de equipamentos etc., algumas atividades práticas propostas nesta Coleção são suficientes para proporcionar o contato direto com fenômenos, identificar questões de investigação, organizar e interpretar dados, entre outras finalidades. Nas Orientações específicas deste Suplemento, há exemplos de práticas investigativas complementares que podem ser propostas pelo professor.

É fundamental que o professor esteja atento às ações e às aprendizagens dos estudantes para identificar se eles realmente estão vivenciando uma experiência investigativa. Sasseron e Carvalho (2008) apresentam um conjunto de indicadores que podem ser utilizados pelo professor para acompanhar a interação dos estudantes com as atividades práticas, tendo a função de mostrar algumas destrezas que devem ser trabalhadas quando se deseja colocar a alfabetização científica em processo de construção entre os estudantes, particularmente em práticas investigativas. Esses indicadores são algumas competências próprias das Ciências e do fazer científico e estão organizados em três grupos:

1º grupo – incorpora as ações desempenhadas nas tarefas de **organizar**, **classificar** e **seriar** os dados obtidos em uma investigação;

2º grupo – engloba dimensões relacionadas à estruturação do pensamento. São dois os indicadores desse grupo: o **raciocínio lógico** compreende como as ideias são desenvolvidas e apresentadas e a relação direta entre elas e a exposição do pensamento; e o **raciocínio proporcional** ilustra a interdependência que pode existir entre as variáveis;

3º grupo – mais diretamente associados à procura do entendimento da situação analisada, os indicadores deste grupo devem surgir em etapas finais das discussões, uma vez que se caracterizam pelo trabalho com as variáveis envolvidas no fenômeno e a busca por relações capazes de descrever as situações para aquele contexto e outros semelhantes. Fazem parte deste grupo os seguintes indicadores da alfabetização científica: **levantamento de hipótese**, **teste de hipótese**, **justificativa**, **previsão** e **explicação**.

É importante que o professor investigue durante os diálogos, as atividades práticas e outros momentos da prática pedagógica se esses elementos estão presentes. Em caso negativo, é preciso reforçar a necessidade do uso deles durante momentos de reflexão coletiva e na condução de novas práticas. Alguns questionamentos que podem direcioná-los são: "Os estudantes estão levantando e testando hipóteses?", "Apresentam diálogos que permitem verificar um raciocínio lógico e proporcional entre as variáveis encontradas?", "Justificam as conclusões com base nos dados?", "Executam as tarefas de organizar e seriar os dados?".

O professor deve estar atento aos procedimentos na preparação de atividades experimentais. Nesta obra, as atividades são pensadas de maneira que os estudantes não sejam expostos a riscos físicos; o cuidado em requerer materiais de baixo custo também foi uma preocupação na Coleção. Além da segurança, há precaução com o fator ambiental, indicando-se sempre a maneira correta de descarte. Também não são propostas atividades de aulas práticas com manipulação, dissecção, coleta e vivissecção de animais, tendo em vista que elas somente são permitidas em instituições de Ensino Superior ou instituições de Ensino Médio Técnico na área Biomédica e que tenham Comitê de Ética e Pesquisa com uso de animais (Ceua) regulamentado (ver legislação disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/lei/l11794.htm e https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=77042. Acessos em: 14 set. 2024).

Em algumas propostas de atividades práticas apresentadas na Coleção, busca-se levar os estudantes a refletir sobre problemas específicos (como os de caráter experimental) que podem ser resolvidos ou minimizados, desafiando-os a pensar cientificamente.

> [...] Utilizar experimentos como ponto de partida, para desenvolver a compreensão de conceitos, é uma forma de levar o aluno a participar de seu processo de aprendizagem, sair de uma postura passiva e começar a agir sobre o seu objeto de estudo, relacionando o objeto com acontecimentos e buscando as causas dessa relação, procurando, portanto, uma explicação causal para o resultado de suas ações e/ou interações. (CARVALHO *et al.*, 1999)

Com isso, cria-se um ambiente intelectualmente ativo, pois o exercício do pensamento científico possibilita a aplicação posterior dessa habilidade também em diferentes aspectos da vida e na construção da visão de Ciência, Tecnologia, Sociedade e ambiente.

As aulas com práticas de investigação podem ser abordadas em forma de aulas práticas experimentais, construção de modelos, simulações e trabalhos de campo.

Carvalho (2006) classifica a atuação do professor e dos estudantes em diferentes níveis de envolvimento com uma atividade investigativa e propõe uma graduação para estudar o que chama de grau de liberdade que os professores oferecem aos estudantes.

Graus de liberdade do professor (P) e do aluno (A) em aulas práticas

	GRAU I	GRAU II	GRAU III	GRAU IV	GRAU V
PROBLEMA	P	P	P	P	A/P
HIPÓTESES	P	P/A	P/A	P/A	A
PLANO DE TRABALHO	P	P/A	A/P	A	A
OBTENÇÃO DE DADOS	P	A/P	A	A	A
CONCLUSÃO	P	A/P/ CLASSE	A/P/ CLASSE	A/P/ CLASSE	A/P/ SOCIEDADE

No grau I, somente o professor participa da aula prática enquanto os estudantes apenas assistem a ela e assumem um papel passivo.

A partir do grau II, é possível encontrar diferentes enfoques de acordo com o nível de participação dos estudantes. Nesse nível de liberdade, o professor propõe o problema, enquanto a elaboração de hipóteses e o plano de trabalho são realizados pelos estudantes, ainda que sob a orientação do professor. O registro dos dados é realizado pelos estudantes sob a orientação do professor, e a conclusão pode ser elaborada pelos estudantes, mas apresentada e discutida por toda a turma, ressaltando a necessidade da divulgação do conhecimento, assim como ocorre na Ciência.

Já no grau III, o professor apresenta um problema e constrói hipóteses com os estudantes, mas cabe a estes, em grupos, pensar em planos de trabalho para coletar os dados. Eles podem discutir com o professor, mas permanecem autônomos para o processo de obtenção dos dados, que pode então ser realizado de diversas formas. No fim, os dados levantados e o processo adotado são apresentados para a turma.

O grau IV se diferencia do anterior pelo fato de o plano de trabalho para testar hipóteses ser feito inteiramente pelos estudantes, exigindo habilidades de planejamento, organização, classificação e seriação. No final, o detalhamento do plano e os dados obtidos com ele são apresentados para a turma e para o professor.

O grau de liberdade V é o nível mais avançado. O professor motiva os estudantes, geralmente em grupos, a pensar e elaborar questões-problema com base na realidade. Uma vez definida a questão a ser investigada, caberá ao grupo elaborar uma hipótese e um plano de trabalho, organizando e realizando o processo de obtenção dos dados, que deverão ser apresentados, ao final, ao professor, à turma e à sociedade, por exemplo, por meio de feiras de Ciências. Esse grau de liberdade conta com o professor como facilitador e orientador e é mais apropriado para as etapas finais do Ensino Médio ou até para o Ensino Superior.

É recomendável proporcionar diferentes graus de liberdade nas práticas investigativas no Ensino Médio. O professor pode utilizar esse quadro para se inspirar, considerando adaptações no formato das atividades práticas já propostas no Livro do estudante, dependendo da maturidade da turma e das condições de ensino.

Algumas atividades propostas na seção **Na prática** podem ser classificadas como de grau II, pois são estruturadas e fornecem o procedimento a ser conduzido. Elas deixam para os estudantes tarefas como o levantamento de hipóteses, a análise e a discussão de dados e a elaboração de conclusões.

Se a turma já tiver vivenciado outras atividades investigativas e desenvolvido certa maturidade em relação a essas práticas, é possível adaptar as atividades do Livro do estudante, tornando-as de grau III e IV. Pode-se, por exemplo, apresentar apenas a questão-problema, deixando a cargo do corpo discente o levantamento de hipóteses e o desenho experimental adequado para resolver o problema com base no conteúdo conceitual estudado, exercendo habilidades de seriação de etapas, raciocínio lógico e resolução de problemas. A possibilidade da vivência de diferentes graus ajuda a criar novos desafios para que os estudantes passem da manipulação para a discussão, a argumentação, os registros, a organização das apresentações e a relação com o conteúdo teórico da unidade, exercitando assim o protagonismo.

O professor assume papel fundamental nesse processo ao propor novos problemas, acompanhar as discussões, promover novas oportunidades de reflexão, motivar, desafiar e estimular a argumentação. Desse modo, ele se torna um orientador da aprendizagem dos estudantes, auxiliando-os na articulação entre o senso comum e o saber científico. Na abordagem integrada das diferentes Ciências da Natureza, o professor também tem o papel de problematizar com os estudantes a articulação das diferentes ciências na produção de conhecimento.

Segurança nas atividades práticas

Seja em um laboratório equipado, seja na sala de aula, as atividades práticas representam situações que podem envolver riscos – à integridade física e à saúde das pessoas, de forma direta ou indireta, ao ambiente. Nesta Coleção, oferecemos maneiras de minimizá-los: eliminamos reagentes tóxicos, adequamos materiais e procedimentos e reduzimos as quantidades envolvidas. Outra medida fundamental é o uso de avental (ou jaleco) e óculos de segurança em todas as atividades. Ainda que esses equipamentos possam parecer, à primeira vista, dispensáveis, o uso constante colabora para a construção de uma cultura de segurança no laboratório. Os estudantes devem ter pleno domínio do trabalho a ser executado; para isso, oriente-os a revisar todo o procedimento antes de executá-lo, evitando ações mecânicas e irrefletidas.

No Livro do estudante, a orientação sobre segurança é reforçada nos quadros *Atenção*, sobretudo na seção **Na prática**.

O pensamento computacional e o ensino de Ciências da Natureza

Pensamento computacional é uma estratégia de como pensar e desenvolver resoluções para um problema. De fato, a técnica leva inclusive à elaboração de soluções que não são únicas para o problema em questão e que também podem ser aplicadas a outros problemas parecidos. O conceito de pensamento computacional pode ser aplicado em qualquer área do conhecimento e provavelmente é utilizado de forma inconsciente por muitas pessoas no dia a dia. No entanto, estar consciente dessa estratégia é benéfico por permitir consistentemente o enfrentamento de problemas grandes e complexos e a obtenção de boas soluções.

No artigo "Pensamento computacional – Um conjunto de atitudes e habilidades que todos, não só cientistas da computação, ficaram ansiosos para aprender e usar", escrito por Jeannette Wing e publicado em 2006 (p. 1-10), a autora dá alguns exemplos da presença de elementos do pensamento computacional no cotidiano:

> Quando sua filha vai para a escola pela manhã, ela coloca em sua mala as coisas que precisará para o dia – isso é *prefatching* e *caching*. Quando seu filho perde suas luvas, você sugere que ele refaça seus passos – isso é *backtracking*. Em que ponto você para de alugar esquis e compra seu próprio? – isso são *algoritmos on-line*. Em qual fila do mercado você fica? – isso é *modelagem de performance para sistemas multisservidores*. Por que seu telefone continua funcionando mesmo com falta de energia? – isso é *independência de falha* e *redundância de projeto*.

Para Wing (2011 *apud* ANDRÉ, 2018), favorecer o pensamento computacional tem como principal função formar pessoas capazes não apenas de identificar as informações, mas principalmente de produzir artefatos com base na compreensão de conceitos e utilizá-los para enfrentar desafios e refletir sobre seu cotidiano. André (2018) também traz outro pressuposto importante relacionado ao pensamento computacional: fazer com que estudantes e professores desenvolvam a competência de pesquisar, isto é, de aprender de forma independente e

autônoma sobre um tema ou um procedimento que não conhecem, usando *sites*, bibliotecas e ambientes virtuais, ao mesmo tempo que discutem com outros indivíduos os resultados encontrados. Dessa forma, o pensamento computacional se alinha aos processos e às práticas científicas, sendo também considerado um meio para alcançar a alfabetização científica.

O pensamento computacional pode ser aplicado na análise e na resolução de problemas por meio de quatro pilares:

- **Decomposição:** consiste em dividir um problema em problemas menores e mais simples, para facilitar sua compreensão e resolução. Assim, um problema complexo pode ser resolvido em partes menores, com estratégias e abordagens diversas, facilitando o planejamento de recursos, esforços e tempo necessários para solucioná-lo.
- **Reconhecimento de padrões:** ocorre ao identificar similaridades entre problemas, para que a mesma estratégia possa ser replicada, agilizando a resolução.
- **Abstração:** ocorre ao analisar e classificar os dados de um problema, selecionando as informações relevantes à resolução e descartando os dados desnecessárias.
- **Algoritmo:** sequência ordenada de passos para realizar uma tarefa ou conjunto de instruções que leva à solução de um problema. Os algoritmos permitem resolver problemas de forma sistemática e, às vezes, são usados para automatizar as soluções.

Dessa maneira, o pensamento computacional permite lidar com problemas complexos e variados, além de criar estratégias que podem ser aplicadas a outros tipos de problema de mesma natureza fazendo pequenos ajustes. Vale destacar que, dependendo do problema, nem todos os pilares serão necessários na resolução.

Segundo André (2018, p. 105),

> Nas atividades propostas na escola consideramos sempre que a melhoria da aprendizagem dos alunos passa pelo pensamento computacional. Devemos então considerar atividades práticas como situações que possibilitem aprendizagem significativa dando condições para que os alunos possam:
>
> - formular questões acerca de sua realidade e dos fenômenos que vivenciam;
> - elaborar hipóteses sobre essa realidade e esses fenômenos e testá-las, orientando-se por procedimentos planejados;
> - interagir com seus colegas em um ambiente coletivo e propício ao debate de ideias e ao desenvolvimento da capacidade de argumentação através do confronto de suas opiniões.

Segundo esse autor, o pensamento computacional pode ser aplicado a uma imensa gama de artefatos, incluindo: sistemas, processos, objetos, algoritmos, problemas, soluções, abstrações e coleções de dados ou informações.

O planejamento de uma ampla série de atividades desta Coleção pretendeu possibilitar situações cognitivamente desafiadoras para os estudantes, valorizando suas ideias iniciais e as representações sobre os temas propostos.

Nos últimos anos, as concepções a respeito do pensamento computacional passaram por profundas modificações que permitiram aproximar essa proposta ao dia a dia do estudante, ou seja, ao seu mundo real, tornando-a cada vez mais presente e concreta.

Diversas atividades propostas nesta Coleção buscam desenvolver o pensamento computacional por meio de diferentes processos cognitivos (analisar, compreender, definir, comparar etc.). A seção **Atividade comentada**, como estratégia de estudo, explora de forma sistemática alguns pilares do pensamento computacional. A seção **Na prática** e algumas **Atividades de fechamento** também possibilitam a aplicação dos pilares na busca de soluções.

Alfabetização midiática: do acesso à criação de mídias

Além de explorar linguagens, conteúdos conceituais, práticas investigativas e relações entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente, a BNCC destaca o reconhecimento das potencialidades das tecnologias digitais para o ensino, as práticas sociais e o mundo do trabalho. Desse modo, nas diferentes áreas, são definidas competências e habilidades que permitem aos estudantes:

> - **buscar dados e informações** de forma crítica nas diferentes mídias, inclusive as sociais, **analisando as vantagens** do uso e da evolução da tecnologia na sociedade atual, como também seus riscos potenciais;
> - apropriar-se das **linguagens da cultura digital**, dos novos letramentos e dos multiletramentos para explorar e produzir conteúdos em diversas mídias, ampliando as possibilidades de acesso à Ciência, à tecnologia, à cultura e ao trabalho;
> - **usar diversas ferramentas** de *softwares* e aplicativos para compreender e **produzir conteúdos em diversas mídias**, simular fenômenos e processos das diferentes áreas do conhecimento, e elaborar e explorar diversos registros de representação matemática; e
> - **utilizar, propor e/ou implementar soluções** (processos e produtos) envolvendo diferentes tecnologias, para identificar, analisar, modelar e solucionar problemas complexos em diversas áreas da vida cotidiana, explorando de forma efetiva o **raciocínio lógico, o pensamento computacional, o espírito de investigação e a criatividade**.
>
> (BRASIL. 2018, p. 472)

O surgimento das mídias digitais interativas, como as redes sociais, os buscadores e outras plataformas colaborativas, marca a origem da *Web* 2.0, que caracteriza o alto grau de interatividade, colaboração, produção, uso e consumo de conteúdo pelos próprios usuários (MARTINO, 2014). Inicialmente, o acesso à internet estava restrito aos computadores de mesa, que foram dando espaço para os *notebooks* até chegar o tempo dos *smartphones*. Vivemos, então, em um mundo no qual as mídias parecem ser onipresentes (ARROIO, 2017), mas nem sempre todas as suas potencialidades são utilizadas em contextos escolares.

O fato de a realidade digital ser extremamente dinâmica exige constantes processos de formação e atualização. Diante disso, esta Coleção e este Suplemento buscam apresentar possibilidades aos professores e aos estudantes para superar eventuais barreiras no uso das tecnologias digitais. Os professores devem construir uma relação de parceria e trocas com os estudantes nessas circunstâncias, pois, como a maioria dos jovens atuais nasceu em um contexto em que essas tecnologias já estavam presentes, eles próprios podem trazer novas ideias para uso e produção.

As propostas da BNCC sobre o uso de mídias e tecnologias se articulam com o documento **Alfabetização midiática e informacional: diretrizes para a formulação de políticas**

e estratégias, publicado em 2011 pela Unesco (WILSON *et al*., 2013). De acordo com os autores desse documento, a alfabetização midiática e informacional (AMI) relaciona-se diretamente com o usufruto do direito à liberdade de expressão. Seguindo essa perspectiva de alfabetização midiática, Klosterman, Sadler e Brown (2012) pesquisaram o uso dos meios de comunicação de massa na resolução de problemas socio-científicos em escolas estadunidenses. Nessa investigação, os autores se basearam nos fundamentos da alfabetização midiática e adaptaram categorias, conforme o emprego dado à mídia por professor e estudantes ao longo das atividades. As categorias de uso de mídia propostas foram:

- acesso – acessar fontes de mídia e indicar possibilidades de recontextualização na escola;
- análise – determinar o autor da mídia, o público-alvo, a intencionalidade das mensagens e dos conteúdos veiculados;
- avaliação – julgar o valor da fonte em termos de acurácia, conteúdo científico, credibilidade, adequação, relevância e usabilidade;
- criação – elaboração de mídias impressas e audiovisuais na escola.

Os autores definem que essas quatro categorias são igualmente importantes nas práticas educativas, mas a categoria com maior demanda cognitiva é a criação. Um professor que planeja promover abordagens de criação de mídia com os estudantes permite que eles aprendam por meio da exploração e da ação, além de lhes possibilitar liberar a criatividade e se expressar por meio das próprias vozes, ideias e perspectivas (WILSON *et al.*, 2013).

Com base nesses pressupostos, o trabalho com mídias perpassa esta obra e busca explorar as quatro categorias estabelecidas por Klosterman, Sadler e Brown (2012) por meio de determinadas atividades das seções **Em foco**, **Trabalho e juventudes** e **Atividades de fechamento** e, sobretudo, pela seção **Educação midiática**. Essas atividades trazem propostas de criação e divulgação de materiais relevantes ao contexto local e regional dos estudantes e, em sua maioria, demandam o uso de diferentes tecnologias de informação e comunicação (TICs).

As propostas da seção **Educação midiática**, em particular, demandam estudos de artefatos de mídia, o que inclui, por exemplo, a **identificação** e a **análise** de suas características, pesquisa adicional sobre aspectos desses artefatos e **avaliação** da qualidade das fontes de informação. Não raro, os artefatos a serem avaliados necessitam do acesso às respectivas fontes de mídia.

A integração de práticas de alfabetização midiática e de alfabetização científica no ensino de Ciências da Natureza e suas Tecnologias pode estimular o pensamento crítico, com base no conteúdo trabalhado, e a potencialidade de melhoria de ações na sociedade. Com isso, processos de liberdade de expressão e justiça social são fortalecidos, empoderando estudantes e professores para desenvolver mensagens e protagonismo por meio de produções midiáticas apoiadas no pensamento científico, em fontes seguras e em ações fundamentadas no conhecimento.

A leitura inferencial como objeto de conhecimento

Fazer leitura inferencial significa construir sentido com o texto, deduzir informações com base nele e nos conhecimentos prévios do leitor. Solé (1998) define o ato de ler como:

> Ler é compreender e que compreender é sobretudo um processo de construção de significados sobre o texto que pretendemos compreender. É um processo que envolve ativamente o leitor, à medida que a compreensão que realiza não deriva da recitação do conteúdo em questão. Por isso, é imprescindível o leitor encontrar sentido no fato de efetuar o esforço cognitivo que pressupõe a leitura, e para isso tem de conhecer o que vai ler e para que fará isso.

Leitura inferencial é, portanto, um processo mental que requer competências:

- interpretativas: o leitor faz generalizações, prevê fenômenos e faz suposições acerca do conteúdo;
- dedutivas: o leitor lê nas entrelinhas, conecta ideias do texto para obter conclusões que não estão diretamente expressas no texto.

A indicação da leitura inferencial nos componentes curriculares que compõem a área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias justifica-se, principalmente, pela **competência geral 2** definida pela BNCC – **Pensamento científico, crítico e criativo** –, com base na qual se espera que o estudante precise

> [...] exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e criar soluções (inclusive tecnológicas) com base nos conhecimentos das diferentes áreas (BRASIL, 2018).

Para extrair inferências de um texto, é importante ter em conta os seguintes passos:

- identificar as ideias principais no texto;
- efetuar suposições em torno das ideias implícitas no texto com base nas existentes;
- reler para constatar a inferência feita (a informação que valida a inferência se converte em sua fundamentação correspondente).

Com base no trabalho de Vargas (2012), esta Coleção busca apresentar uma diversidade de tipos de abordagem para o trabalho com textos, explorando aspectos linguístico-discursivos cruciais para a construção da leitura e exigindo um trabalho cognitivo e de interação dos conhecimentos dos estudantes com os textos; nesse processo, os estudantes são considerados produtores de significados e não meros reprodutores do texto. As abordagens previstas possibilitam aos estudantes estabelecer relações entre o que eles já sabem e o conteúdo dos textos lidos, para então construir interpretações consistentes, o que mobiliza a identificação de elementos explícitos no texto, o estabelecimento de relações entre eles e inferência ou extração de ideias. Nas Orientações específicas deste Suplemento, oferecemos alguns direcionamentos para conduzir essas atividades.

Para auxiliar nessa tarefa, sugerimos a leitura do livro **35 estratégias para desenvolver a leitura com textos informativos** (MOSS; LOH, 2012). Apresentamos, a seguir, de forma resumida, três dessas estratégias que podem auxiliar no processo de leitura inferencial, tanto nas oportunidades oferecidas pela Coleção quanto em outros textos da vida cotidiana dos estudantes, como matérias impressas ou digitais de jornais e revistas de grande circulação:

- estratégia A – **marcar páginas com organizadores adesivos**: ajuda os jovens a ler com objetivos específicos em mente. Cada estudante recebe quatro marcadores adesivos. No primeiro,

eles vão marcar um ponto de exclamação (!) para as partes mais importantes e/ou interessantes do texto. O segundo, que deve ser identificado com um "V", é para vocábulos que precisam ser bem discutidos; o terceiro, identificado com um ponto de interrogação (?), é para trechos aparentemente confusas do texto; e o quarto, identificado com a letra (I), deve ser usado para indicar um elemento ilustrativo (desenho, mapa, tabela, gráfico) que os ajudaram a inferir melhor o significado que o autor pretende transmitir no texto;

- estratégia B – **guia de discussão**: possibilita uma leitura crítica buscando entender o que está por trás da informação. Nesse caso, a atividade deve ser feita em grupo e se basear no preenchimento de um guia com base na leitura do texto. Esse guia deve conter quatro novos aprendizados, três comentários e/ou opiniões, duas perguntas e um tópico que precisa de um exame mais aprofundado por meio de novas leituras;
- estratégia C – **cartão de comentário**: reunidos em grupos e com base em uma leitura, preferencialmente de um tema controverso, os estudantes devem receber uma folha de papel A4 e dividi-la em quatro partes. Nessas partes, devem escrever: um comentário, uma surpresa, uma pergunta e uma observação. As folhas podem então ser coladas uma a uma em um painel. Alternativamente, pode-se dividir a lousa ou o mural em quatro partes e reunir em um único quadrante todas as percepções dos estudantes referentes a comentários; em outro, sobre as surpresas; e assim por diante. Outros tipos de cartão de comentário podem ser criados dependendo das características do texto trabalhado. Uma sugestão é a divisão em: "Concordo", "Concordo com ressalvas", "Discordo" e "Preciso de mais informações para me posicionar".

O jovem do Ensino Médio como protagonista

Para Costa (2000),

> [...] o protagonismo juvenil parte do pressuposto de que o que os adolescentes pensam, dizem e fazem pode transcender os limites de seu entorno pessoal e familiar e influir no curso dos acontecimentos na vida comunitária e social mais ampla. (COSTA, 2000)

Ou seja, trata-se de um olhar que reconhece o potencial criador e transformador do jovem em sua atuação no mundo.

A escola assume papel fundamental no desenvolvimento desse protagonismo, pois é nesse local que se torna possível a articulação entre os saberes que os jovens trazem de suas vivências e os saberes teóricos e conceituais que são desenvolvidos na prática pedagógica.

Pensar em protagonismo, portanto, é uma mudança de paradigma que, além de posicionar o jovem no centro do processo de aprendizagem, coloca-o como cocriador do próprio processo, e não somente como um receptor de conteúdo.

A revista **Nova Escola** publicou, em 2013, um número especial intitulado "O que os jovens de baixa renda pensam sobre a escola". A apuração feita naquela edição revelou, entre outros aspectos, que esses jovens não viam sentido em muitos dos conteúdos ensinados e reclamavam da falta do uso de tecnologias na escola. A publicação indicou também que o jovem não se sentia pertencente ao ambiente escolar, por isso não via propósito no que aprendia, além de perceber a distância entre a vida real (baseada na tecnologia) e a rotina escolar.

Com o intuito de aproximar o conteúdo estudado na escola das realidades dos estudantes, a Coleção contempla temáticas sugeridas pelo TCTs e busca ser parceira do professor, na medida em que sugere abordagens apropriadas ao desenvolvimento do protagonismo juvenil associado às competências gerais e às habilidades e competências específicas da área Ciências da Natureza e suas Tecnologias. E várias temáticas trabalhadas na obra dialogam com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, favorecendo a atribuição de sentido às aprendizagens dos estudantes por sua vinculação aos desafios da realidade mundial, regional e local.

Coerente com essa perspectiva, em vários momentos a obra busca viabilizar o acesso dos estudantes às bases científicas e tecnológicas dos processos de produção do mundo contemporâneo, articulando o conhecimento teórico à resolução de problemas da sua realidade.

O quadro **Reflita sobre seu aprendizado!** é também um exemplo de estímulo ao protagonismo juvenil. Por meio dos questionamentos "O que você aprendeu acerca dos assuntos abordados nesta unidade?" e "O que mais você gostaria de saber sobre os conteúdos abordados nesta unidade?", por exemplo, os estudantes são convocados a refletir sobre experiências e aprendizagens desenvolvidas ao longo do estudo da unidade. Eles também são incentivados a aprofundar a temática a fim de privilegiar suas necessidades e seus interesses. Essa é uma estratégia de conscientização para que o estudante continue aprendendo e aprimorando seus conhecimentos.

A BNCC deixa explícito que enxergar o estudante como protagonista pressupõe também valorizar sua bagagem pessoal e cultural, ou seja, seus conhecimentos prévios. Admite ainda seu envolvimento em processos de discussão, decisão, desenho e execução de ações porque, conforme expõem Costa e Vieira (2000), o protagonismo juvenil reconhece que a participação dos jovens pode gerar mudanças decisivas na realidade social, ambiental, cultural e política em que estão inseridos.

Com o intuito de atender também a essas demandas, a Coleção reservou espaços que valorizam a voz do estudante. O quadro **Pense nisso!**, por exemplo, diz respeito às questões de levantamento de conhecimentos prévios sobre o conteúdo de Ciências da Natureza e suas Tecnologias. Essa ferramenta auxilia o docente em seu planejamento, respeitando as especificidades de cada turma e de cada estudante. A utilização dessa estratégia se justifica porque a aprendizagem significativa está associada à capacidade do estudante de relacionar o que já sabe sobre determinado assunto com o que está aprendendo, e assim estabelecer conexões. No entanto, o professor não deve se limitar a esse quadro para mapear os conhecimentos dos estudantes. É fundamental que tenha em mente que a natureza (procedimental, conceitual, factual ou atitudinal) do conteúdo também determina a maneira como o levantamento de conhecimentos prévios pode ser conduzido, por exemplo, por meio de desenhos e esquemas representativos, rodas de conversa, produções de texto, análises de casos e situações, encenações e dramatizações, desafios de lógica, entre outros.

Em determinadas atividades, os estudantes são incitados a atuar de modo responsável e consciente nas diferentes esferas: social, política, cultural, ambiental. De acordo com essa perspectiva, eles são conduzidos a aprender a estruturar argumentos adequadamente embasados que justifiquem suas ideias e a avaliar informações a que são expostos dentro da temática. Ao saber utilizar argumentos, os estudantes podem extrapolar os muros da sala de aula, mobilizando esse conhecimento para resolução de problemas diários.

Ressignificando o papel do professor e sua prática pedagógica

A nova configuração do Ensino Médio prevê não apenas que os estudantes assumam o protagonismo do seu processo de formação, como também exige uma mudança no papel do professor, o que já vem acontecendo há algum tempo na educação, desde que seu eixo central passou do ensino (centralizado na figura de autoridade do professor) para a aprendizagem (focada na figura do estudante produtor de conhecimento). O Ministério da Educação, nos anos 2000, propôs uma formação, nos cursos de Ensino Superior, mais condizente com os desafios do mundo atual:

> [...] Dentre as exigências que se colocam para o papel docente destacam-se:
>
> - orientar e mediar o ensino para a aprendizagem dos alunos;
> - responsabilizar-se pelo sucesso da aprendizagem dos alunos;
> - assumir e saber lidar com a diversidade existente entre os alunos;
> - incentivar atividades de enriquecimento curricular;
> - elaborar e executar projetos para desenvolver conteúdos curriculares;
> - utilizar novas metodologias, estratégias e materiais de apoio;
> - desenvolver hábitos de colaboração e trabalho em equipe. (BRASIL, 2000)

Há, portanto, uma mudança de paradigma tanto do papel docente, que vem buscando ocupar esse espaço de facilitador do processo de aprendizagem, compartilhando a autoridade desse processo, quanto do estudante, que busca sair do papel de cumpridor de tarefas para alguém que faz proposições e é ouvido de fato.

Costa (2001) afirma que a verdadeira relação educador-educando

> [...] baseia-se na reciprocidade, entendida como interação na qual duas presenças se revelam mutuamente, aceitando-se e comunicando uma à outra, uma nova consciência, um novo conteúdo, uma nova força, sem que, para isto, a originalidade inerente a cada um seja minimante posta em causa.

Trata-se, portanto, de um equilíbrio dialógico entre os dois papéis, o do professor e o do estudante, ambos com exigências e paradigmas novos para lidar. Nesse cenário, a colaboração tende a ser um caminho de crescimento e desenvolvimento mais fluido e eficaz.

Para repertoriar os docentes com ferramentas capazes de estabelecer essa colaboração na aprendizagem, trazemos sugestões de **metodologias ativas**, que também favorecem o desenvolvimento de competências e habilidades preconizadas pela BNCC.

Metodologias ativas

A essência do termo **metodologia ativa** não se constitui em algo novo. Encontramos menções à importância da ação e da experiência para a aprendizagem em Dewey (1950), Freire (2009), Rogers (1973), Novak e Gowin (1999). O estadunidense John Dewey (1859-1952), por exemplo, em seu ideário da Escola Nova, já defendia que a aprendizagem ocorre pela ação, colocando o estudante no centro dos processos de ensino e de aprendizagem. Portanto, é no contexto de crise enfrentada pela escola tradicional e conteudista que as metodologias ativas encontram um ambiente oportuno para serem consideradas nas práticas pedagógicas dos professores.

De acordo com Bacich e Moran (2018, p. 25) as

> [...] metodologias ativas são estratégias de ensino centradas na participação efetiva dos estudantes na construção do processo de aprendizagem [...] ao seu envolvimento direto, participativo e reflexivo em todas as etapas do processo, experimentando, desenhando, criando, com orientação do professor.

Diesil, Baldez & Martins (2017) identificam que os princípios que constituem essa abordagem de ensino são: estudante como centro do ensino-aprendizagem; professor como mediador, facilitador, ativador; inovação; trabalho em equipe; problematização da realidade; reflexão e autonomia.

Nessa perspectiva, o uso das metodologias ativas requer uma mudança de postura do professor e do estudante para que ressignifiquem seus papéis, como pode ser observado no quadro a seguir.

Características que professores e estudantes assumem em dois contextos de ensino

	Papel do professor	Papel do estudante
Ensino tradicional	Transmissor do conhecimento e centro do processo	Receptor passivo da informação
	Trabalho individual e por disciplina	Participa isoladamente do processo
	Conteúdos organizados em aulas expositivas	Transcreve, memoriza e repete
	Avalia o produto	Faz avaliações (provas e testes)
Ensino com metodologias ativas	Orientador, tutor, conduz a aprendizagem	Ativa o conhecimento prévio
	Trabalho em equipe	Aprende em ambiente colaborativo: interação estudante × estudante; estudante × professor; estudante × material didático
	As disciplinas são organizadas por área de conhecimento, valorizando a interdisciplinaridade	Pesquisa, analisa, avalia, toma decisões coletivas e/ou individuais com a finalidade de encontrar soluções para um problema
	Avalia o processo e o produto	Faz autoavaliação, avaliação entre pares e avaliação do professor

Fonte: DIESIL, A.; BALDEZ, A. L. S.; TINS, S. N. Os princípios das metodologias ativas de ensino: uma abordagem teórica. **Revista Thema**, v. 14, n. 1, p. 268-288, 2017.

Uma abordagem que faz uso de metodologias ativas promove, por meio de atividades complexas, o desenvolvimento das competências gerais enfatizadas pela BNCC. Aprendizagem baseada em problemas, em projetos, por pares, *design thinking*, sala de aula invertida, método *jigsaw*, estudo do meio e estudo de caso são apenas alguns exemplos de metodologias ativas, e a escolha da metodologia a ser adotada é condicionada aos objetivos de aprendizagem concernentes a cada turma.

O tópico *Sugestões didáticas* nas Orientações específicas deste Suplemento oferece sugestões para conduzir determinados conteúdos com base em metodologias ativas. Ao longo das orientações, foram destacadas e justificadas as competências gerais que podem ser desenvolvidas nessas ocasiões. Esta Coleção valoriza o docente não apenas como mediador do processo de ensino e aprendizagem, mas também como pesquisador da própria prática, que questiona, reflete e reavalia as etapas de seu trabalho na busca por soluções. Assim, estamos certos de que, com base em seus saberes, o professor pode adaptar nossa sugestão ao seu contexto educativo a fim de proporcionar um ambiente em que os estudantes desenvolvam cada vez mais a autonomia.

Avaliação a serviço da aprendizagem

Quando se pensa na avaliação como processo, surgem questionamentos voltados aos resultados esperados e cobrados dos estudantes, e os professores, na função de mediadores, por vezes, se perguntam quais são os instrumentos seguros e legítimos que podem ser utilizados.

Segundo Luckesi (2011), a avaliação deve ser o instrumento dialético do avanço, porque a aprendizagem, como cerne da ação avaliativa, é dinâmica. Assim, deve-se buscar o impulsionamento das aprendizagens dos estudantes levando em consideração seus aspectos cognitivos, afetivos e sociais, além de promover a melhoria do ensino. Esses dois processos – ensino e aprendizagem – são dinâmicos e complementares.

Concordamos com Luckesi (2011) quando aponta que:

> [...] para qualificar a aprendizagem de nossos educandos, importa, de um lado, ter clara a teoria que utilizamos como suporte de nossa prática pedagógica, e, de outro, o planejamento de ensino, que estabelecemos como guia para nossa prática de ensinar no decorrer das unidades de ensino do ano letivo.

Torna-se necessária, portanto, uma reflexão do professor a respeito dos instrumentos capazes de recolher dados sobre a realidade de aprendizagem dos estudantes. Os instrumentos podem ser diversificados tanto quanto é diversificada a maneira como os estudantes estão aptos a aprender e demonstrar seu aprendizado. O **Guia de Implementação do Novo Ensino Médio** deixa explícita a necessidade de elaboração de modelos avaliativos que deem conta das particularidades de cada metodologia e estratégia de ensino e aprendizagem:

> As escolas não devem se limitar somente à aplicação de provas escritas ao final de um período, em especial quando o que está sendo avaliado não é apenas o aprendizado de conteúdos, mas o desenvolvimento de habilidades e competências. Propõe-se que se desenvolvam diferentes métodos de avaliação que atendam à nova realidade, como a demonstração prática, a construção de portfólios, a documentação emitida por instituições de caráter educativo, entre outras formas de se avaliar os saberes dos estudantes. (BRASIL, 2020)

A prática avaliativa no contexto atual visa, então, superar sua função burocrática de atribuir notas e sua limitação à memorização repetitiva de conteúdos conceituais. Uma das preocupações no Novo Ensino Médio é desenvolver habilidades e competências, o que exige do professor uma escolha diferenciada e diversificada de instrumentos que o ajudem a perceber o progresso dos estudantes nas múltiplas relações que eles estabelecem com o conhecimento científico e com os conteúdos procedimentais e atitudinais. Dentro desse contexto, vários modelos avaliativos podem ser aplicados.

O modelo de **avaliação formativa** acompanha todo o processo de ensino-aprendizagem dos estudantes, permitindo ao professor identificar os resultados de seu trabalho e ao estudante constatar as próprias dificuldades, de forma que as aparentes falhas sejam encaradas como guias no processo pedagógico, possibilitando redirecionamentos e potencialização das aprendizagens (PERRENOUD, 1991; HADJI, 2011).

No modelo de **avaliação diagnóstica**, no início de determinada etapa de ensino, é feita a verificação de um conjunto de conteúdos a fim de subsidiar o docente no planejamento das atividades pedagógicas posteriores (CORTESÃO, 2002). Já o chamado modelo de **avaliação somativa** é adotado em etapas finais de ensino, objetivando a verificação do que os estudantes assimilaram com base em atividades geralmente fechadas de intuito seletivo e classificatório (FERNANDES, 2008; SANTOS, 2016). No entanto, esse modelo também pode ter caráter formativo quando fornece *feedback* tanto ao docente quanto aos estudantes sobre as aprendizagens realizadas e os resultados das estratégicas pedagógicas adotadas (FERNANDES, 2023).

Na **avaliação comparativa** (ou normativa), o desempenho dos estudantes é comparado entre si e não com os objetivos de aprendizagem, baseando-se em análise estatística (ARREDONDO; DIAGO, 2013). Embora esse modelo não forneça dados sobre a aprendizagem individualizada dos estudantes, ele possibilita fazer levantamentos estatísticos acerca de processos educacionais; é típico de avaliações como Enem, Saeb, vestibulares e simulados.

Já no modelo de **avaliação ipsativa**, a aprendizagem dos estudantes é avaliada de acordo com a progressão deles entre o ponto de partida e o de chegada do processo educacional, podendo complementar a avaliação formativa (HUGHES, 2017).

Esta Coleção apresenta momentos que priorizam a avaliação, delineando sua importância ao longo do processo de aprendizagem. Na Abertura das unidades, o quadro **Pense nisso!** serve de avaliação diagnóstica, permitindo ao professor colher pistas do que os estudantes já sabem e de como compreendem o conteúdo para, então, usá-las como subsídio no planejamento do estudo dos capítulos. Na seção **Educação midiática**, as perguntas apresentadas ao final do texto introdutório também têm o propósito de sondar conhecimentos prévios dos estudantes acerca do assunto que será aprofundado e servirá de base para a produção de um conteúdo específico ao término da atividade.

As questões apresentadas nas seções **Aplique e registre** permitem ao docente fazer avaliação formativa dos estudantes ao longo do estudo dos capítulos e avaliação somativa quando se considera que cada uma dessas seções se refere à verificação aprendizagem do bloco de conteúdo subsequente.

Nas seções **Aplique e registre**, **Atividade comentada** e **Atividades de fechamento**, há exemplos de atividades do Enem e de vestibulares que possibilitam aos estudantes vivenciar aspectos de avaliações somativas às quais poderão se submeter em anos subsequentes, por ocasião do ingresso no Ensino Superior.

A seção **Atividades de fechamento** tem um caráter de avaliação somativa, pois visa avaliar o conteúdo assimilado pelos estudantes após o estudo do capítulo. No entanto, como proporciona um *feedback* tanto ao estudante quanto ao professor acerca das práticas pedagógicas realizadas durante esse percurso, também apresenta viés formativo.

A seção **Reflita sobre seu aprendizado!** é um momento de autoavaliação que demanda dos estudantes a decomposição dos objetivos gerais da unidade em suas partes para posterior percepção dos aspectos desses objetivos que foram atendidos à luz do que foi estudado na unidade e daqueles que ainda precisam ser esclarecidos. Trata-se de uma estratégia de avaliação ipsativa que remete ao pensamento computacional ao dividir um problema em problemas menores até que sua solução seja trivial. Já o tópico *Autoavaliação* da seção **Educação midiática** possibilita aos estudantes identificar pontos fortes e fracos em relação ao desenvolvimento dos objetivos de aprendizagem, habilidades e competências de alfabetização midiática e informacional mobilizados na atividade, representando assim mais um exemplo de avaliação ipsativa.

Na Coleção, consideramos a **autoavaliação** uma etapa importante da aprendizagem, pois permite que os estudantes assumam responsabilidade e autonomia sobre esse processo, refletindo sobre a própria aprendizagem e estabelecendo ações que favoreçam seu avanço.

No caso da seção **Educação midiática**, apresentamos ainda neste Suplemento a sugestão de uso de rubricas – quadros que relacionam objetivos de aprendizagem e níveis de desempenho – com base em critérios de avaliação presentes ao final da seção para auxiliar o professor na avaliação formativa dos estudantes nas atividades de alfabetização midiática e informacional desenvolvidas.

Destacamos ainda dois instrumentos de avaliação e as oportunidades em que podem ser realizados com base nas seções do Livro do estudante e nos objetivos de aprendizagem estabelecidos para o percurso pedagógico planejado.

- **Mapa conceitual**

É uma representação gráfica de uma rede de proposições que explicita a relação entre conceitos sobre determinado conhecimento. Os conceitos são organizados de forma hierárquica, do mais geral, localizado no topo, ao mais específico, na base do mapa. A construção deve responder a uma pergunta específica que direciona a elaboração e a leitura. Assim, ao trabalhar com o conteúdo do Livro do estudante, esse recurso ajuda o professor a verificar o conhecimento declarativo dos estudantes a respeito do conteúdo vinculado às habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, mobilizando também as **competências gerais 1** e **2**. Sugerimos duas maneiras de utilizar essa ferramenta:

1. solicitar aos estudantes que construam um mapa com base no seguinte questionamento: "Quais são os principais assuntos tratados ao longo do capítulo?". Nesse caso, é importante que o professor ensine os estudantes a construir um mapa conceitual realizando um treinamento sistemático para que eles possam encadear corretamente os componentes essenciais, as proposições, a hierarquia e a pergunta focal. Indicamos os artigos de Moraes e colaboradores (2011) e Moreira (2012) como referências para auxiliar nessa tarefa;
2. o professor elabora um mapa conceitual sobre o capítulo estudado com alguns elementos conceitualmente incorretos. Os erros devem ser de níveis simples, intermediário e avançado. Cópias desses mapas devem ser distribuídas aos estudantes para que identifiquem os erros e sugiram correções. Por fim, o professor avalia a quantidade e a complexidade dos erros identificados, bem como as sugestões de correção.

Nas duas sugestões, o professor pode solicitar a construção ou a análise do mapa conceitual em grupo ou individualmente. Além disso, é importante que os estudantes compartilhem o aprendizado com os colegas, promovendo um momento de prática metacognitiva e permitindo ao professor reconhecer dificuldades conceituais dos educandos. Esse momento também é uma oportunidade para avaliar como os estudantes mobilizam a **competência geral 4**, que tem como foco a comunicação que leve ao entendimento mútuo.

- **Debate**

O debate é uma atividade planejada e estruturada para a exposição de diferentes pontos de vista sobre determinado assunto e pode assumir diversos formatos (simulações de assembleias, júris, convenções etc.). Como instrumento de avaliação, permite ao professor identificar como os estudantes aplicam as habilidades que essa ferramenta pedagógica demanda: conhecimento escolar, argumentação, oralidade, organização estratégica do pensamento, capacidade de escuta etc., favorecendo a mobilização de elementos que compõem as **competências gerais 1**, **4**, **7** e **9**. É importante que o professor componha uma lista de critérios de avaliação para acompanhar o debate e, assim, possa orientar adequadamente a conduta de cada estudante.

A Coleção cria oportunidades para que o debate seja valorizado como estratégia de aprendizagem e de avaliação. As seções **Em foco**, **Trabalho e juventudes** e **Educação midiática** permitem organizar esse tipo de atividade, uma vez que estimulam a participação ativa dos estudantes, convidando-os a expor suas opiniões e a refletir sobre os diferentes pontos de vista. Em algumas questões da seção **Atividades de fechamento** esse recurso também pode ser adotado.

Além desses instrumentos, é possível realizar resumos, relatórios ou fichas de observação, principalmente durante o trabalho com a seção **Na prática**; confeccionar portfólio individual ao longo do estudo da unidade; elaborar *blog*, produzir vídeos e animações em *stop motion* para divulgar informações para a comunidade; e utilizar rubricas (que indicam, em escala, as expectativas específicas para determinada tarefa) para avaliar o trabalho dos estudantes, o que pode ser feito em qualquer seção do livro.

As seções **Aplique e registre**, **Atividade comentada** e **Atividades de fechamento**, compostas de questões de múltipla escolha e questões discursivas, contribuem para a preparação dos estudantes para as avaliações em larga escala. São oportunidades para o professor se tornar parceiro do estudante utilizando essas seções como instrumentos a serviço da aprendizagem do educando: de um lado, o professor atua como mediador, auxiliando na resolução dos exercícios; de outro, o educando gradativamente ganha autoconfiança, tornando-se autônomo, de modo que os erros e as dúvidas possam impulsionar sua aprendizagem.

Durante o trabalho com as seções mencionadas, o professor deve ir além da constatação das dificuldades dos estudantes. É preciso compreender o nível e as condições em que eles se encontram, com intuito de (re)direcionar suas ações e apresentar caminhos para que o educando construa seu conhecimento. Nesse contexto, para o professor, a avaliação assume um caráter reflexivo, que pode ser norteado por alguns questionamentos: "Como planejo minhas aulas?"; "Como registro e avalio o trabalho realizado pelos estudantes?"; "Quais são as principais causas do sucesso ou do fracasso das estratégias adotadas?" e "O que deve ou não ser alterado?".

ORIENTAÇÕES ESPECÍFICAS DO VOLUME

O componente curricular Química

Você já imaginou que, em alguns anos, dirigir pode se tornar uma atividade desnecessária e até mesmo ultrapassada? Os carros autônomos, que se movem sem a necessidade de um motorista, são a mais recente promessa de inovação na evolução dos automóveis e buscam revolucionar a forma como nos deslocamos. Da mesma forma, os carros movidos a álcool foram uma grande novidade no Brasil nos anos 1980, oferecendo uma alternativa aos combustíveis derivados do petróleo.

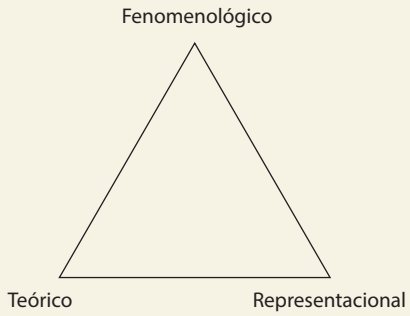
O desenvolvimento de novos combustíveis, baterias mais eficientes e ligas metálicas mais leves e resistentes tem demonstrado um grande avanço. Os conhecimentos da Química, ciência dedicada ao estudo da constituição, propriedades e transformações dos materiais, são fundamentais para o desenvolvimento de novos materiais. Assim, ao aprender Química, espera-se que os estudantes associem o uso dos materiais às suas propriedades, como densidade, solubilidade, temperatura de fusão, temperatura de ebulição, poder calorífico e propriedades magnéticas. Espera-se ainda que eles sejam capazes de compreender essas propriedades à luz dos conhecimentos sobre a composição dos materiais.

Esses conhecimentos são essenciais, pois vivemos em uma sociedade que constantemente demanda o desenvolvimento de novos materiais. Por outro lado, esta mesma sociedade vem recebendo cada vez mais destaque pelos crimes ambientais e pela indiferença frente às questões sociais. Dessa forma, o ensino de Química deve contribuir para a formação integral do estudante, proporcionando-lhe a capacidade de refletir sobre suas decisões e sobre as decisões de outras pessoas, atuando em prol da sociedade e do ambiente.

A contextualização no ensino de Química é uma maneira de promover essa formação crítica e atuante dos jovens. Em uma perspectiva tradicional da contextualização, são selecionados exemplos para serem utilizados em sala de aula de modo a destacar a relevância da Química no dia a dia e tornar o conteúdo mais próximo do estudante, facilitando a aprendizagem (Maffi *et al*., 2019). Contudo, quando se traz o contexto para exemplificar conceitos específicos de Química, existe o risco de um ensino sem problematização. A contextualização deve, então, proporcionar uma reflexão crítica sobre questões sociais, econômicas e ambientais relacionados à Química. Dessa forma, além de promover a aprendizagem de conceitos específicos, ajuda a romper a imagem neutra da ciência, aumentando o nível de criticidade, auxiliando na resolução de problemas de ordem social e pessoal e permitindo maior consciência das interações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS).

Como já discutido nesta obra, a abordagem CTS tem como pressuposto a inserção de conhecimentos científicos e tecnológicos a partir de uma problemática socioambiental visando, por meio da articulação entre os diferentes conhecimentos, um posicionamento crítico e atuante diante da problemática apresentada. Quando se trata de conhecimentos científicos, estes podem ser provenientes de diferentes áreas do saber.

Falando especificamente do componente curricular Química, para garantir a compreensão pelo estudante e a articulação com a problemática, é necessário abordar os conceitos a partir de três aspectos: o fenomenológico, o teórico e o representacional (Mortimer; Machado; Romanelli, 2000), como ilustrados no triângulo a seguir.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: MORTIMER, E. F.; MACHADO, A. H.; ROMANELLI, L. I. A proposta curricular de química do Estado de Minas Gerais: fundamentos e pressupostos. **Química Nova**, v. 23, n. 2, p. 273-283, 2000.

Representação das inter-relações entre os aspectos fenomenológicos, representacionais e teóricos do conhecimento químico.

O aspecto fenomenológico diz respeito aos fenômenos de interesse da química e que podem ser observados diretamente, como a obtenção de etanol a partir do caldo da cana-de-açúcar, as chamas provenientes da queima do etanol e a corrosão de um objeto de ferro. Podemos incluir, ainda, fenômenos que não provocam um efeito visível, mas podem ser notados indiretamente como as interações detectadas por espectroscopia.

O aspecto teórico envolve as teorias que explicam os fenômenos observáveis e que requerem do estudante uma capacidade maior de abstração uma vez que, no caso da Química, as explicações são em nível submicroscópico, incluindo entidades não observáveis a olho nu, como átomos, íons, moléculas, partículas subatômicas.

Já o aspecto representacional, ou simbólico, refere-se às informações expostas por meio de fórmulas e equações químicas, gráficos, figuras e representações de modelos. São representações características da Química que garantem a ela uma linguagem própria: a linguagem química. Por ser uma linguagem própria, traz consigo a materialização do pensamento abstrato, da elaboração de novos conceitos e da compreensão do fenômeno observado e estudado.

Os três aspectos devem ser igualmente considerados durante o ensino e é importante que o teórico e o representacional sejam mobilizados a partir do fenomenológico, ou seja, do que é concreto para o estudante. Dessa forma, ele se sentirá pertencente à aula podendo fazer parte das discussões mesmo que

ainda não tenha a compreensão científica daquele fenômeno. Partindo dos fenômenos observados pelos estudantes é possível considerar suas ideias iniciais pautadas em senso comum ou em estudos anteriores.

Sobre isso, Mortimer, Machado e Romanelli (2000) destacam:

> A ausência dos fenômenos nas salas de aula pode fazer com que os alunos tomem por "reais" as fórmulas das substâncias, as equações químicas e os modelos para a matéria. É necessário, portanto, que os três aspectos compareçam igualmente. A produção de conhecimento em Química resulta sempre de uma dialética entre teoria e experimento, pensamento e realidade. Mesmo porque não existe uma atividade experimental sem uma possibilidade de interpretação. Ainda que o aluno não conheça a teoria científica necessária para interpretar determinado fenômeno ou resultado experimental, ele o fará com suas próprias teorias implícitas, suas ideias de senso comum, pois todo processo de compreensão é ativo. Para que a interpretação do fenômeno ou resultado experimental faça sentido para o aluno, é desejável manter essa tensão entre teoria e experimento, percorrendo constantemente o caminho de ida e volta entre os dois aspectos. O aspecto representacional também resulta dessa tensão, fornecendo as ferramentas simbólicas para representar a compreensão resultante desses processos de idas e vindas entre teoria e experimento. É importante ressaltar que, nesta proposta, o conceito de fenômeno e de experimento ultrapassa a dimensão do laboratório. Ir ao supermercado, fazer uma visita, investigar a corrosão do portão da garagem, também são atividades que se caracterizam pela ação de experienciar, vivenciar (Mortimer; Machado; Romanelli, 2000, p. 227).

O ensino a partir de uma problemática socioambiental pode mobilizar outros conhecimentos científicos, além dos relacionados à Química. Quando se trata de Ciências da Natureza, a abordagem interdisciplinar de uma questão socioambiental pode proporcionar ao estudante uma visão crítica da Ciência, ou seja, compreender o desenvolvimento científico como uma construção humana influenciada por fatores políticos, sociais, econômicos, culturais e pessoais. A ciência é, além disso, dinâmica, com teorias que podem ser o tempo todo aprofundadas, repensadas ou refutadas (Borges, 2007; Ferreira-Gauchía; Vilches; Gil-Pérez, 2012).

Vamos retornar ao exemplo inicial sobre o desenvolvimento dos carros movidos a álcool. O desenvolvimento científico e tecnológico de produção de combustíveis renováveis como uma alternativa aos derivados do petróleo é um campo vasto e interdisciplinar. Essa evolução, que traz à tona importantes questões socioambientais, pode ser estudada e discutida sob perspectivas complementares dentro da área das Ciências da Natureza.

Sob o viés da Química, é possível compreender os processos envolvidos na obtenção dos combustíveis, os resíduos gerados em sua produção, a possibilidade de reaproveitamento, a eficiência energética de cada combustível, as matérias-primas alternativas para a produção de combustíveis, os poluentes emitidos durante a sua combustão e o impacto negativo para o ambiente e para a saúde humana.

Sob o viés da Física, é possível compreender o princípio de funcionamento do motor à combustão interna e os processos de conversão de energia envolvidos em seu funcionamento, a eficiência dessa conversão, a comparação entre motores à combustão interna e a combustão externa, conceitos de energia térmica, calor, temperatura, trabalho.

Sob o viés da Biologia, é possível compreender os impactos à biodiversidade durante a extração do petróleo e o plantio de matéria-prima para a produção de etanol, bem como o papel da ciência para que as plantações sejam cada vez mais resistentes a pragas e, consequentemente, tenha um aumento de produtividade.

Além da interdisciplinaridade entre os componentes curriculares de Ciências da Natureza, é possível estabelecer relações com outras áreas. Conhecendo o contexto histórico é possível entender como se deu a corrida para o desenvolvimento de fontes de energia renováveis. Dessa maneira, o estudante será capaz de defender o uso de um tipo de combustível em detrimento de outro, argumentando cientificamente e considerando aspectos econômicos, eficiência energética e impactos socioambientais.

Outro ponto a se considerar a respeito da interdisciplinaridade é que, quando nos deparamos com problemas da sociedade ou problemas nos sistemas produtivos, estes são gerais e não relacionados a conhecimentos específicos de uma única ciência. Logo, quando o ensino promove uma compreensão mais ampla dos fenômenos, de forma interdisciplinar, os estudantes estarão mais preparados para o mundo do trabalho, para a compreensão dos diferentes processos produtivos e para o viver em sociedade.

Entendemos, então, a importância de um ensino pautado na compreensão e na busca por soluções para as questões socioambientais, que mobilize conhecimentos de diferentes componentes curriculares e áreas do conhecimento visando preparar o estudante para enfrentar, com autonomia intelectual, problemas gerais da sociedade e do mundo do trabalho. Isso mostra um ensino que tem como foco o estudante e seu desenvolvimento. Um estudante que deixa de ser sujeito passivo para ser um sujeito ativo, que se mobiliza e toma decisões. Isso significa que, se o papel do estudante muda, o papel do professor também deve mudar.

Nesse sentido, o professor deve atuar como mediador no processo de aprendizagem. Nesta atuação mediadora, o papel de transmissor de conhecimento dá lugar a uma figura facilitadora do processo de aprendizagem, que estimula a participação ativa do estudante, valoriza os conhecimentos e experiências prévios e desenvolve atividades investigativas pautadas no tratamento de problemas com elaboração de hipóteses, coleta e análise de dados (Carvalho; Gil-Pérez, 2011).

Atividades que incentivam a construção de conhecimento com base nas hipóteses dos estudantes podem ajudar a superar uma visão de ciência empirista-indutivista. Essa visão concebe o conhecimento científico obtido por meio da observação dos fenômenos, a partir dos quais se formulam conclusões gerais ou leis explicativas, sem levar em consideração hipóteses ou teorias pré-existentes (Borges, 2007).

Em suma, para que o professor desenvolva atividades interdisciplinares, problematizadoras, que possibilitem ao estudante o desenvolvimento da criticidade e de visões coerentes da ciência é necessário que o professor continue aprendendo e se desenvolvendo intelectualmente.

UNIDADE 1

UNIVERSO, TERRA E VIDA

A abertura desta unidade aborda a presença de água no satélite Europa. Ao explorar conceitos físico-químicos e biológicos essenciais ao surgimento, à manutenção e à evolução da vida na Terra, é possível analisar e discutir a probabilidade de haver condições de sustentar a vida em outros corpos do Sistemas Solar. O surgimento da vida, bem como sua manutenção e o aumento da complexidade dos organismos como os que conhecemos hoje, foi possível graças às condições físico-químicas que permitiram interações moleculares importantes, em presença de um solvente como a água, além das propriedades dos elementos químicos em um ambiente favorável.

1. Espera-se que os estudantes relacionem a evolução dos modelos atômicos com a descrição de fenômenos e propriedades da matéria que não eram explicados por modelos anteriores. Caso não consigam diferenciar as características fundamentais que distinguem os modelos atômicos, propostos desde John Dalton (1766-1844) até os dias atuais, retome o conteúdo. Uma forma de fazê-lo é apresentar cada modelo em ordem cronológica de proposição, relacionando-o às evidências científicas que levaram à proposição de um novo modelo.
2. Espera-se que os estudantes mencionem que a água atua como um solvente para diversos nutrientes essenciais aos organismos vivos. O solvente é um importante meio para o transporte desses nutrientes e para a ocorrência de reações químicas fundamentais à manutenção das células.
3. Espera-se que os estudantes citem propriedades como as condutividades elétrica e térmica, o brilho característico desses materiais, suas relativamente altas temperaturas de fusão, além da maleabilidade e da ductibilidade, propriedades importantes para a formação de lâminas e fios a partir desses materiais.
4. Espera-se que os estudantes mencionem de forma simplificada que, na produção do aço, ocorrem diversas transformações químicas, desde a obtenção do ferro metálico a partir do seu minério até a adição de carbono na quantidade adequada para a obtenção dessa liga. É possível que eles citem também a necessidade de submeter o minério ou o metal a altas temperaturas e/ou de adicionar outros reagentes para facilitar a produção dessa liga.

Capítulo 1 Origem e estrutura dos átomos

O foco deste capítulo é discutir a formação dos átomos no Universo que compõe a matéria. Sua abordagem requer a apreensão de uma quantidade de conceitos abstratos e considerados de difícil apreensão pelos estudantes. Portanto, recomendamos uma abordagem que priorize a construção gradual do conhecimento com base no repertório dos estudantes, com auxílio de recursos multimídia e de referências da literatura especializada.

Objetivos de aprendizagem

Espera-se que, ao término deste capítulo, o estudante seja capaz de:

- explicar os processos de formação dos elementos químicos a partir do processo de fusão nuclear.
- discutir criticamente sobre as modificações dos modelos de constituição da matéria baseados em observações empíricas.
- explicar a origem da variação isotópica dos elementos químicos e sua distribuição diferencial no Universo.
- discutir as teorias envolvendo a distribuição eletrônica dos elementos químicos e a lei periódica propostas em diferentes épocas, comparando com as teorias e organização periódica aceitas atualmente.
- explicar o agrupamento dos elementos químicos por meio da representação da tabela periódica e de acordo com suas características comuns relacionadas aos modelos subatômicos.

Por dentro da BNCC e dos TCTs

- **Competências gerais:** 1, 2, 5, 7 e 9
- **Habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias:** EM13CNT101, EM13CNT201, EM13CNT203, EM13CNT205, EM13CNT209, EM13CNT301, EM13CNT303, EM13CNT307 e EM13CNT309
- **Tema contemporâneo transversal (TCT):** Ciência e tecnologia

Sugestões didáticas

Inicie a abertura do capítulo solicitando aos estudantes a leitura e o resumo dos tópicos "Introdução ao estudo da Química" e "A fusão nuclear e a formação dos núcleos atômicos". Em seguida, oriente-os a formar grupos de três integrantes para partilharem suas anotações e responderem aos seguintes questionamentos: "De onde vem a energia das estrelas?"; "Como o Sol nos ilumina todos os dias?"; "Como núcleos mais pesados que o hélio são gerados?"; "Como é possível a formação de átomos mais pesados que ferro?"; "Os átomos de todos os elementos químicos são formados pelo processo de fusão nuclear?"; "Qual é o significado da figura 'Camadas internas das estrelas'?". Deixe claro para o estudantes que as cores usadas nessa representação são apenas para fins didáticos e não têm relação com a temperatura das camadas internas das estrelas. Para uma discussão mais detalhada e aprofundada sobre a nucleossíntese dos elementos químicos, consulte a referência suplementar indicada a seguir.

GUIMARÃES, V.; HUSSEIN, M. S. Nucleossíntese dos elementos e astrofísica nuclear. **Revista USP**, n. 62, p. 74-87, 2004. Disponível em: https://www.revistas.usp.br/revusp/article/view/13343/15161. Acesso em: 25 out. 2024.

Após a discussão, peça aos grupos que revisem suas respostas iniciais e compartilhem com a turma. Nesse momento, tire dúvidas e fique atento aos possíveis equívocos. Essa discussão é um momento de avaliação contínua, que deve ser registrado por meio de sua observação ou do registro escrito dos estudantes nos grupos, após a solução de dúvidas. As habilidades aqui contempladas são **EM13CNT101** e **EM13CNT209**, além das **competências gerais 7 e 9**.

Para trabalhar os tópicos "Estrutura atômica", "Massa atômica e abundância isotópica", "Íons" e "Espectros atômicos" e favorecer o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT301**, sugere-se

a utilização de recursos multimídia para explicar e mediar a construção dos conceitos pelos estudantes, como sugerido na referência suplementar indicada a seguir, favorecendo o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT201** e das **competências gerais 1**, **2** e **5**.

SILVA, G. R.; MACHADO, A. H.; SILVEIRA, K. P. Modelos para o átomo: atividades com a utilização de recursos multimídia. **Química Nova na Escola**, v. 37, n. 2, p. 106-111, 2015. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc37_2/06-EQM-83-13.pdf. Acesso em: 31 out. 2024.

Peça aos estudantes que leiam o tópico "Tabela periódica e configuração eletrônica" no período extraclasse e anotem as dúvidas. Em sala forme grupos para a resolução das atividade de modo colaborativo. Essa abordagem favorece o desenvolvimento das **competências gerais 2** e **9**. Para aprofundar a compreensão sobre o tema sugerimos a referência suplementar indicada a seguir: TOLENTINO, M.; ROCHA-FILHO, R. C.; CHAGAS, A. P. Alguns aspectos históricos da classificação periódica dos elementos químicos. **Química Nova**, v. 20, n. 1, 1997. Disponível em: https://www.scielo.br/j/qn/a/L8D86KrVsxnSRGGTFn4YY6j/?format=pdf&lang=pt. Acesso em: 25 out. 2024.

Para finalizar o trabalho com o capítulo, proponha aos estudantes que, em grupos de três a quatro integrantes, leiam o texto e as questões disponíveis na seção **Em foco**, que aborda o papel do Brasil na exploração de terras-raras. Essa abordagem visa favorecer o desenvolvimento das **competências gerais 7** e **9**, já que, em grupos, os estudantes podem exercitar a capacidade argumentativa, a empatia, o diálogo e a cooperação, das habilidades **EM13CNT203**, **EM13CNT303** e **EM13CNT309**, e do **TCT Ciência e Tecnologia**.

Proposta de avaliação

A avaliação da aprendizagem pode ser realizada, em caráter formativo, por meio das diferentes atividades propostas ao longo do capítulo. A seção **Atividades de fechamento**, ao final do capítulo, visa avaliar a aprendizagem dos estudantes em relação aos principais conteúdos abordados, incluindo questões de vestibular, a fim de preparar os estudantes para exames de larga escala.

Resoluções e comentários

Aplique e registre

1. **a.** $^{7}_{3}Li$. **b.** $^{56}_{26}Fe$. **c.** $^{19}_{9}F$. **d.** $^{207}_{82}Pb$. **e.** $^{65}_{30}Zn$.

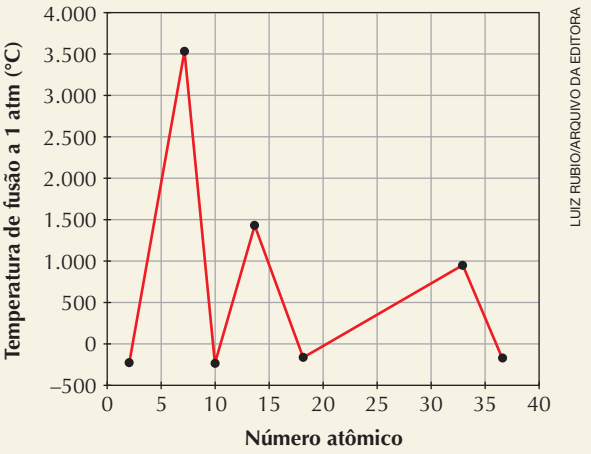
2. 11 prótons, 12 nêutrons e 10 elétrons.

3. **a.** A presença do grupo NO_3, que se apresenta na forma de ânion nitrato, NO_3^-.

b. Se todas as espécies testadas têm chamas de cores diferentes e apresentam o ânion nitrato, não pode ser ele o responsável pela cor da chama; assim, a substituição do $NaNO_3$ por $NaC\ell$ não deve alterar a cor (amarela), pois, pelos dados da tabela, pode-se inferir que essa cor é resultado da presença dos íons Na^+, presentes nas duas substâncias.

4. Alternativa **c**. Elementos químicos de um mesmo período têm em comum o número de camadas eletrônicas. Já elementos no mesmo grupo tendem a apresentar propriedades químicas semelhantes.

5. **a.** Espera-se que os estudantes esbocem um gráfico como o apresentado a seguir.



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

b. A alternância entre temperaturas de fusão acima ou abaixo de 0 °C conforme a variação do grupo dos elementos químicos permite afirmar que essa característica é periódica.

6. Alternativa **d**. Os elementos I e II apresentam 1ª e 2ª energias de ionização próximas entre si, indicando que os elétrons removidos devem estar na mesma camada, diferentemente do elemento III, em que a diferença entre a 1ª e a 2ª energia de ionização é de aproximadamente dez vezes, indicando que os elétrons estão em camadas mais afastadas entre si. Assim, o sódio deve ser o elemento III, pois ele apresenta apenas um elétron na camada de valência, ao passo que o magnésio e o cálcio apresentam dois elétrons na camada de valência. O elemento II apresenta energias de ionização maiores que o I, indicando que os elétrons da camada de valência de II devem ocupar camadas mais próximas do núcleo. Assim, II deve ser o elemento magnésio, cuja última camada ocupada é a terceira, enquanto a última camada ocupada no caso do cálcio é a quarta.

Em foco

1. O Brasil não explora economicamente suas reservas de terras-raras devido ao custo elevado da tecnologia de extração e separação desses elementos químicos. Embora o Brasil tenha as etapas iniciais e finais da cadeia produtiva (minério e consumo final), o país não domina as etapas intermediárias, como a separação dos elementos químicos e a fabricação de produtos específicos, tornando a produção nacional pouco competitiva no mercado. Sobre a proposição de soluções, espera-se que os estudantes citem investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D), políticas públicas de incentivo à indústria de terras-raras (com redução de impostos no setor, por exemplo), parcerias internacionais e acordos comerciais.

2. Conforme o texto informa, Amazonas é o estado onde se especula haver reservas de terras-raras ainda desconhecidas. Espera-se que os estudantes sejam capazes de argumentar sobre a exploração desses recursos. Possíveis argumentos que podem ser usados são: A FAVOR – aspectos relacionados ao desenvolvimento econômico; a inovação tecnológica; a criação de uma exploração sustentável; CONTRA – aspectos relacionados a impactos ambientais irreversíveis; aos riscos para comunidades locais; a dependência de modelos extrativistas.

Atividades de fechamento

1. Alternativa **b**. Energia de ionização é a energia necessária para remover o elétron da camada eletrônica mais externa de um átomo no estado gasoso. Esta questão favorece o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT307**.

2. A aurora polar ocorre nos polos Norte (aurora boreal) e Sul (aurora austral). A relação entre o modelo de Bohr e as auroras polares está na compreensão de como os átomos na atmosfera terrestre interagem com partículas carregadas do vento solar para produzir luz. No modelo de Bohr, os elétrons orbitam o núcleo do átomo em camadas específicas de energia. Quando partículas carregadas do vento solar colidem com os átomos na atmosfera da Terra, elas transferem energia para os elétrons desses átomos, excitando-os para níveis de energia mais elevados. Quando esses elétrons retornam aos seus níveis de energia originais, eles emitem a energia absorvida na forma de luz visível, criando o espetáculo luminoso das auroras polares. As cores da aurora polar são determinadas pelos tipos de átomos e moléculas presentes na atmosfera terrestre e pelos níveis de energia envolvidos nas transições eletrônicas.
3. Alternativa **b**. Lâmpadas incandescentes: o filamento metálico é aquecido a alta temperatura para emitir luz; o filamento deve ser feito por um metal de temperatura de fusão muito alta. Nesse caso, o metal utilizado é o tungstênio. Lâmpadas fluorescentes: o metal deve se volatilizar e, portanto, ser líquido nas condições ambientes. Mercúrio é um metal líquido nessas condições. Esta questão favorece o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT307**.
4. As linhas observadas no espectro indicado correspondem à radiação eletromagnética emitida por átomos de hidrogênio quando liberam a energia absorvida. Essas radiações são emitidas quando o elétron do hidrogênio é transferido de um subnível de maior energia para um de menor energia. Embora exista somente um elétron, há mais de uma transição possível e, portanto, mais de uma linha é observada no espectro de emissão do hidrogênio. Essa atividade contribui para o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT205**.
5. A existência de diversas teorias para a estrutura atômica ao longo do tempo revela que a comunidade científica depende do conhecimento e da tecnologia disponíveis em dado momento histórico e está em permanente construção. Mediante novas evidências experimentais, a comunidade científica busca alterar os modelos explicativos a fim de aumentar a capacidade preditiva, com base no conhecimento desenvolvido e trazendo benefícios para a sociedade.
6. **a.** Fleróvio (114) e Livermório (116).
   b. Sétimo período.
   c. O elemento químico de maior número atômico da tabela periódica atual é o 118, o qual pertence ao grupo 18 e ao período 7. Como não há mais grupo à direita da tabela periódica, a adição de um elemento hipotético com número atômico 119 iria ocorrer no grupo 1 e no período 8.
7. **a.** A propriedade que pode ajudar a explicar esse acúmulo é a densidade. Os corpos mais densos são mais fortemente atraídos pelo centro de gravidade e se deslocam em direção a ele em um fluido (característica similar àquela encontrada no período de formação da Terra).
   b. A disposição dos elementos químicos na tabela periódica nos permite prever quais deles são mais densos, pois a densidade aumenta no grupo com o aumento do número atômico, e no período em direção ao centro da tabela. Esta atividade favorece a interdisciplinaridade com o componente curricular Física.

Capítulo 2 As ligações covalentes e a química da vida

Este capítulo tem como foco discutir o papel da água e dos compostos orgânicos na origem da vida na Terra, contextualizando o estudo das propriedades das substâncias moleculares, relacionando-as com suas estruturas, a formação de ligações químicas e as interações intermoleculares. Para isso, a sugestão didática para este capítulo é inspirada nos ciclos da metodologia ativa da Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP).

Objetivos de aprendizagem

Espera-se que, ao término deste capítulo, o estudante seja capaz de:

- explicar as possibilidades de existência de vida em diferentes pontos do Universo relacionando a sua composição e estrutura química.
- reconhecer a Ciência como mutável, percebendo os limites explicativos de modelos científicos que podem ser substituídos, notando essa característica nos modelos de ligação química.
- relacionar as propriedades dos materiais com suas estruturas e interações químicas para explicar e avaliar a adequação de seus usos em diferentes aplicações.

Por dentro da BNCC

- **Competências gerais:** 1, 2, 4, 5, 7 e 9
- **Habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias:** EM13CNT104, EM13CNT301, EM13CNT302, EM13CNT306, EM13CNT307 e EM13CNT310
- **Tema contemporâneo transversal:** Saúde

Sugestões didáticas

Divida a turma em grupos com quatro a cinco integrantes e proponha questões-problema que deverão ser solucionadas por eles. Essa estratégia visa desenvolver o protagonismo dos estudantes, bem como a habilidade **EM13CNT301** e as **competências gerais 1, 2, 4, 7 e 9**, já que os estimula a exercitar sua curiosidade intelectual e se envolver em atividades próprias das Ciências.

Apresente as seguintes questões-problema que deverão nortear os estudos dos estudantes:

- Europa, uma das quatro principais luas de Júpiter, consiste em um importante campo de estudo da Astrobiologia, já que uma das características mais marcantes desse satélite é a presença de água. Por que são importantes as pesquisas sobre corpos celestes que contêm água? Quais propriedades da água conferem a ela importância para a descoberta de vida extraterrestre? Qual é a importância da água na origem e manutenção da vida na Terra?
- No surgimento da primeira célula, além da água, compostos orgânicos foram importantíssimos para sua formação. Biomoléculas como aminoácidos, carboidratos e lipídios são encontradas em concentrações muito pequenas na crosta da Terra, na água e no ar. Como o primeiro organismo vivo adquiriu seus blocos de construção orgânicos necessários para formar a primeira célula?

- Muitos cientistas que defendem as células como as primeiras criações argumentam que é muito difícil imaginar o surgimento de uma estrutura tão complexa que não esteja separada de seu ambiente. Nesse contexto, quais são o papel e a estrutura química provável das primeiras membranas capazes de separar a célula de seu meio extracelular?

Depois de apresentadas as questões-problema, reforce a orientação para os estudantes a fim de que se organizem em grupos e construam uma tabela com duas colunas: "O que eu sei sobre o assunto" e "O que preciso saber sobre o assunto". O debate a respeito das questões, além de propiciar a interdisciplinaridade com os componentes curriculares Biologia e Física e a capacidade de inferência, pode contribuir para o desenvolvimento da capacidade de argumentação dos estudantes, favorecendo, assim, a **competência geral 7**.

Oriente os estudantes a estudar e pesquisar em casa as respostas aos questionamentos-chave. Sugira o Livro do Estudante como base de fonte de estudo, além de outras fontes confiáveis de pesquisa, como a plataforma da Scielo, o Portal da Capes, as plataformas de busca das revistas **Química Nova**, **Química Nova na Escola** e **Revista Pesquisa Fapesp**, entre outras. A resposta aos questionamentos pode ser elaborada ao longo do estudo do capítulo. Sugerimos que o trabalho com o capítulo alterne momentos de estudo extraclasse e resolução de atividades das seções **Aplique e registre**. Reserve alguns momentos da aula para que os grupos elaborem a resposta às questões-problema.

Como desfecho, proponha aos estudantes que elaborem uma apresentação na forma de *pitch* (breve apresentação). A fim de desenvolver a habilidade **EM13CNT302** e as **competências gerais 4**, **5** e **7**, proponha a cada grupo que prepare um seminário ou produza um vídeo curto, de três a cinco minutos, apresentando a resolução final para as questões-problema. Para a avaliação entre pares das apresentações, prepare um formulário eletrônico no qual os estudantes possam analisar o vídeo do próprio grupo e os dos demais em uma escala que varia entre "excelente", "regular" e "precisa melhorar" para os seguintes critérios: criatividade, linguagem, qualidade do vídeo e conteúdo. Em sua avaliação, verifique se os estudantes conseguem mobilizar os conhecimentos adquiridos para a resolução dos problemas.

Para finalizar o trabalho com o capítulo, proponha aos estudantes que, em grupos de três a quatro integrantes, leiam o texto e as questões disponíveis na seção **Em foco**, que aborda o combate ao mosquito *Aedes aegypti*. Dê algum tempo para reflexão e debate e, em seguida, solicite aos estudantes que anotem em uma folha as respostas frutos do consenso do grupo em uma folha. Essa abordagem visa favorecer o desenvolvimento das **competências gerais 7** e **9**, das habilidades **EM13CNT104**, **EM13CNT306**, **EM13CNT307** e **EM13CNT310**, do **TCT Saúde** e do **ODS 3**.

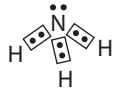
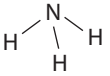
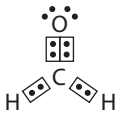
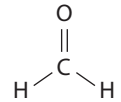
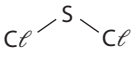
Proposta de avaliação

A avaliação da aprendizagem pode ser realizada, em caráter formativo, por meio das diferentes atividades propostas ao longo do capítulo. A seção **Atividades de fechamento**, ao final do capítulo, visa avaliar a aprendizagem dos estudantes em relação aos principais conteúdos abordados, incluindo questões de vestibular, a fim de preparar os estudantes para exames de larga escala.

Resoluções e comentários

Aplique e registre

1. A afirmação está correta, pois apenas a molécula CH_2O apresenta ligação dupla covalente.

Fórmula molecular	Fórmula de Lewis	Fórmula estrutural
NH_3		
CH_2O		
$SC\ell_2$		

2. Alternativa **c**.

Distribuição eletrônica da camada de valência do flúor:

$$2s^2\ 2p^5$$

Distribuição eletrônica da camada de valência do xenônio:

$$5s^2\ 5p^6$$

Representação da estrutura de Lewis do composto XeF_2:

Portanto, a camada de valência do xenônio passa a ter 10 elétrons.

3. A 25 °C e 1 atm, a água é um líquido e o gás oxigênio é um gás, porque as forças intermoleculares do tipo dipolo instantâneo-dipolo induzido presentes no gás oxigênio são mais fracas do que as ligações de hidrogênio presentes na água. Como a água estabelece interações mais fortes, seu estado físico nas condições ambientes apresentadas é líquido, enquanto o gás oxigênio é um gás nessas mesmas condições.

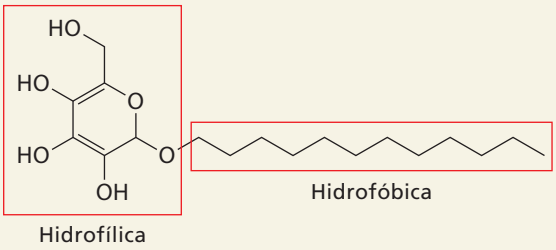
4. Alternativa **e**. Tanto as moléculas de água como as de etanol interagem entre si por meio de ligações de hidrogênio, uma força intermolecular de grande intensidade quando comparada às do tipo dipolo permanente-dipolo permanente presentes entre as moléculas de acetona. Isso explica os maiores valores de temperatura de ebulição da água e do etanol em relação à acetona. Quanto maior for a força intermolecular, maior tenderá a ser a temperatura de ebulição dessa substância.

5. Alternativa **c**. A parte iônica dos tensoativos interage com substâncias polares, como a água. Por esse motivo, o arranjo ordenado das moléculas de um tensoativo adicionado sobre a água é representado pelos círculos (parte iônica) no nível da água, enquanto a cadeia (parte lipofílica) está posicionada acima do nível da água.

Em foco

1. As vantagens dos alquilpoliglicosídeos (APG) em relação aos inseticidas tradicionais são: segurança para saúde humana e para o ambiente, ação direcionada ao ambiente das larvas, menor probabilidade de resistência e origem renovável com biodegradabilidade.

2. O AGP interfere na tensão superficial da água e possibilita o controle de larvas aquáticas dos mosquitos uma vez que sua molécula apresenta uma região hidrofóbica e uma região hidrofílica.



A região hidrofílica está localizada na parte cíclica da molécula, em que os grupos hidroxila (OH—) estabelecem com a água ligações de hidrogênio. Já a região hidrofóbica está localizada na parte não cíclica da molécula, em que a cadeia formada apenas por carbono e hidrogênio, de caráter apolar, praticamente não possui interação intermolecular com a água.

3. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes indiquem a necessidade de políticas públicas e outras ações que promovam a produção, a distribuição, a informação e o acesso ao produto à base de APG, contribuindo para a redução de doenças transmitidas pelo *Aedes aegypti*.

Atividades de fechamento

1. Incentive os estudantes a realizar essa atividade por meio da representação da fórmula estrutural das moléculas, procurando identificar tanto a região com carga parcial positiva quanto a região com carga parcial negativa.
2. Alternativa **d**. As mudanças de estado da água, assim como as dos demais materiais, estão relacionadas à intensidade das interações intermoleculares e à variação de fatores como temperatura e pressão, o que resulta na alteração da organização espacial das moléculas.
3. A estrutura do sabão, por apresentar caráter anfipático, apresenta uma região que é polar (assim como a água) e outra região que é apolar (assim como a gordura). Desse modo, a região hidrofóbica (apolar) do sabão interage com as moléculas apolares de gordura, confinando as partículas gordurosas no interior das micelas formadas. A região hidrofílica (polar) da micela interage com a água quando enxaguamos a louça, arrastando e removendo a sujeira gordurosa.
4. **a.** $C_7H_{13}ON_2C\ell$
   b. Trata-se de um composto polar em razão da diferença de eletronegatividade entre alguns de seus átomos e a assimetria das ligações químicas presentes nessa molécula; assim, o momento dipolo difere de zero.
   c. Os estudantes podem propor que a ação biocida se dê apenas quando esse composto entra em contato com o organismo patogênico e que provavelmente ocorrem interações intermoleculares entre moléculas desse composto e moléculas existentes no patógeno, desencadeando eventos que resultam na morte deste.
5. Nosso corpo é constituído em sua maior parte por água. É necessário mais energia para o rompimento das ligações de hidrogênio e o aumento da energia cinética das moléculas de água em comparação com outras moléculas com massa molecular similar que não interagem por ligações de hidrogênio. Isso auxilia na manutenção da temperatura corporal quando há variações de temperaturas ambientais. Além disso, moléculas com massa molecular similar à da água não interagem por ligações de hidrogênio; são gases nas condições de pressão e temperatura corporais, diferentemente da água, que é líquida nessas condições. Essa questão favorece a interdisciplinaridade com o componente curricular Biologia.
6. **a.** HI > HBr; HI tem maior número de elétrons que HBr.
   b. $CO_2 > CH_4$; CO_2 tem maior número de elétrons que CH_4.
   c. $H_2O > HC\ell$; mesmo tendo número de elétrons menor que o $HC\ell$, a água possui maior temperatura de ebulição, pois apresenta fortes ligações de hidrogênio entre suas moléculas. Já o $HC\ell$ estabelece ligações de menor intensidade, do tipo dipolo permanente-dipolo permanente.
   d. Ar > He; o argônio tem maior número de elétrons que o hélio.
7. **a.** O propano e o metoximetano são gases nessas condições, pois suas temperaturas de ebulição são menores que 25 °C. Já o etanol é líquido nessas condições, pois só passa para a fase gasosa a uma temperatura superior a 25 °C.
   b. Moléculas de propano interagem entre si por dipolo instantâneo-dipolo induzido. As de metoximetano, principalmente por interações dipolo permanente-dipolo permanente. As de etanol, principalmente por ligações de hidrogênio. Quanto mais intensa for a interação entre as moléculas de uma substância, maior será a temperatura necessária para que ocorra a mudança de estado físico. Essa temperatura também depende da massa molecular, e, em geral, quanto maior seu valor, mais elevadas as temperaturas de fusão e de ebulição da substância. Como as substâncias da tabela apresentam massas moleculares próximas, as diferenças observadas podem ser atribuídas predominantemente às interações intermoleculares.
8. Para que as semelhanças entre essas fórmulas estruturais possam ser reconhecidas por deficientes visuais, espera-se que os estudantes, individualmente, busquem materiais e procedimentos para a confecção de modelos tridimensionais que explorem, por exemplo, texturas variadas para representar diferentes átomos. Ajude-os a selecionar as propostas mais viáveis, em número adequado para que cada proposta possa ser atribuída a um grupo de três a quatro estudantes que deverão executá-la. Disponibilize diferentes materiais aos estudantes para que eles possam construir pelo menos uma das representações propostas nessa questão. Propomos a leitura do resumo do trabalho apresentado no XV Encontro Nacional de Ensino de Química (XV ENEQ) "Modelo atômico alternativo para o ensino de geometria molecular para deficientes visuais". Disponível em: http://www.sbq.org.br/eneq/xv/resumos/R1157-2.pdf. Acesso em: 1º set. 2024. Essa questão favorece a interdisciplinaridade com o componente curricular Arte.

Capítulo 3 Metais e as ligações iônica e metálica

Este capítulo tem como foco discutir as propriedades e as aplicações de metais e minérios, bem como os modelos de ligações químicas que explicam essas propriedades. Sugere-se, para a abordagem desse capítulo, uma abordagem com base na história, na cultura e na ciência de matriz africana, mobilizando assim elementos da **competência geral 3**.

Objetivos de aprendizagem

Espera-se que, ao término deste capítulo, o estudante seja capaz de:

- realizar, a partir do conhecimento relativo às características, às diferenças e às representações, previsões sobre os comportamentos de metais, minerais e minérios em situações cotidianas e em processos produtivos que priorizem o desenvolvimento sustentável.
- avaliar os benefícios e os riscos à saúde e ao ambiente, considerando a composição, a toxicidade e a reatividade de diferentes metais e de seus minérios, para propor soluções de usos e descartes responsáveis.
- examinar as propriedades das terras-raras para avaliar a adequação de seu uso em diferentes aplicações, propondo soluções seguras e sustentáveis considerando seu contexto local.
- compreender as propriedades dos metais e de seus minérios com base no conhecimento dos modelos de ligações iônica e metálica.
- reconhecer as contribuições científicas, tecnológicas, culturais e sociais dos povos africanos para a sociedade brasileira, sobretudo no episódio histórico do ciclo do ouro e da exploração mineral.
- avaliar criticamente os impactos econômicos e socioambientais de cadeias produtivas ligadas à exploração de recursos naturais, como o caso da mineração em solo brasileiro.

Por dentro da BNCC

- **Competências gerais:** 1, 2, 3, 6, 7, 9 e 10
- **Habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias:** EM13CNT101, EM13CNT104, EM13CNT207, EM13CNT301, EM13CNT302 e EM13CNT307
- **Habilidades de outras áreas do conhecimento:** EM13CHS104 (Analisar objetos e vestígios da cultura material e imaterial de modo a identificar conhecimentos, valores, crenças e práticas que caracterizam a identidade e a diversidade cultural de diferentes sociedades inseridas no tempo e no espaço.), EM13CHS302 (Analisar e avaliar criticamente os impactos econômicos e socioambientais de cadeias produtivas ligadas à exploração de recursos naturais e às atividades agropecuárias em diferentes ambientes e escalas de análise, considerando o modo de vida das populações locais – entre elas as indígenas, quilombolas e demais comunidades tradicionais –, suas práticas agroextrativistas e o compromisso com a sustentabilidade.)
- **Temas contemporâneos transversais:** Direitos da criança e do adolescente, Trabalho

Sugestões didáticas

Inicie o capítulo apresentando algumas imagens sobre o ciclo do ouro no Brasil que mostram povos africanos, escravizados pelos portugueses no Brasil colônia, trabalhando na extração do ouro e representando a sociedade da época. Um exemplo de imagem pode ser consultado no *link* disponível em: https://www.todoestudo.com.br/historia/ciclo-do-ouro (acesso em: 3 set. 2024). Se possível, planeje e trabalhe de forma interdisciplinar com os professores da área de Ciências Humanas e Sociais Aplicadas para realizar os debates a seguir.

Nesse momento, é importante contextualizar para os estudantes o período histórico e caracterizar a influência da diáspora africana na sociedade brasileira, discutindo as raízes históricas do racismo no Brasil, desde a escravidão. Em seguida, apresente a imagem de abertura do capítulo que representa corrida pelo ouro em Serra Pelada (PA) na década de 1980 e discuta acerca dos impactos socioambientais da mineração nos últimos anos. Essas discussões favorecem o desenvolvimento das **competências gerais 1**, **3** e **6** e das habilidades **EM13CHS104** e **EM13CHS302**.

Com base nas discussões realizadas, utilize os questionamentos a seguir, para guiar o trabalho com o capítulo.

- Qual foi a importância dos minerais para as diversas sociedades ao longo da História? Qual é a sua importância econômica e tecnológica para o Brasil? Quais são os minerais existentes na África e que materiais podem ser produzidos com os metais obtidos?
- Quais são as contribuições no campo científico e tecnológico dos povos africanos para o Brasil?
- Como são obtidos os metais de importância econômica e tecnológica por meio dos minerais encontrados na natureza? Quais são os impactos ambientais decorrentes de sua extração? Quais foram os impactos socioambientais da corrida do ouro em Serra Pelada?
- Quais são as propriedades dos metais e de seus minerais?
- Quais são os modelos que explicam as relações entre seus aspectos macroscópicos, submicroscópicos e simbólicos?

Esses questionamentos foram elaborados com o intuito de contemplar também as **competências gerais 1, 2** e **7**, que visam o desenvolvimento da capacidade argumentativa com base em fatos, dados e informações confiáveis para defender ideias, além do exercício da curiosidade intelectual e da análise crítica para utilizar os conhecimentos historicamente construídos sobre o mundo físico, social e cultural.

Organize o trabalho com o capítulo solicitando aos estudantes que retomem as perguntas norteadoras ao final de cada aula, revisando as respostas confirmadas e o que ainda precisa ser confirmado.

Sobre a mineração no Brasil, peça aos estudantes que acessem a página do Ministério de Minas e Energia (https://www.gov.br/mme/pt-br, acesso em: 25 out. 2024), que disponibiliza vários documentos que podem auxiliá-los na compreensão do impacto dessa atividade econômica para o país.

Comente que o ferro é o metal produzido em maior escala no Brasil e que Minas Gerais, onde aconteceu o rompimento da barragem de Brumadinho em janeiro de 2019, é um dos estados de maior produção. Para auxiliar o desenvolvimento do pensamento critico dos estudantes, sugere-se a leitura da referência suplementar PORTO, P. A.; QUEIROZ S. L. Negligências e tragédias. **Química Nova na Escola**, v. 41, n. 1, fev. 2019. Editorial, p. 3. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc41_1/02-Editorial-41-1.pdf. Acesso em: 25 out. 2024.

Complemente a discussão explorando conceitos como biodisponibilidade, espécie química, bioacumulação e biomagnificação, uma vez que, dependendo das concentrações dos metais, ele podem ser tóxicos aos seres vivos e causar graves problemas ambientais. Nesse sentido, é necessário também refletir que o conhecimento científico pode estar atrelado à minimização de impactos ambientais como o ocorrido, rompendo com concepções apocalípticas da Ciência pelos estudantes e desenvolvendo parcialmente as habilidades **EM13CNT101** e **EM13CNT104**.

Ao trabalharem com o tópico dos metais terras-raras (TR), comente que os TR estão associados à confecção de produtos tecnológicos, como computadores, lâmpadas e *smartphones*, ao desenvolvimento de tecnologias limpas, como veículos híbridos e energia eólica e solar, a aplicações em defesa e comunicação etc. Essas discussões podem promover o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT307**.

A atividade proposta na seção **Na prática** permite trabalhar os quatro pilares do pensamento computacional, ao mobilizar seis habilidades dessa estratégia para resolução de problemas: a coleta de dados, a análise de dados, a representação de dados, a decomposição de problemas, a abstração e a elaboração de algoritmos e procedimentos. A atividade também permite o desenvolvimento da **competência geral 2** e das habilidades **EM13CNT301** e **EM13CNT302**. Já as etapas finais do procedimento seguem a rotina de pensamento *Think-Pair-Share* que estimula os estudantes a chegar coletivamente a uma conclusão, permitindo o desenvolvimento das **competências gerais 9** e **10**.

Ao explicar as ligações metálicas, observe atentamente as concepções alternativas dos estudantes. É comum surgirem confusões entre ligações metálicas e ligações covalentes e iônicas. Para mais discussões sobre as concepções alternativas e dificuldades dos estudantes com esse tópico, consulte a referência suplementar a seguir:

FERNANDES, L. dos S.; CAMPOS, A. F. Pesquisas em periódicos nacionais e internacionais sobre o ensino – aprendizagem de ligação química. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 12, n. 2, maio-ago. 2012. Disponível em: https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4235. Acesso em: 25 out. 2024.

Para ampliar e generalizar o conhecimento dos estudantes, peça que se organizem em grupos e escolham um destes temas: "Os metais na cultura e na ciência africana"; "As terras-raras no Brasil e no mundo"; "Os desastres ambientais de Mariana e Brumadinho"; "A importância das substâncias metálicas na indústria mineral brasileira"; "Toxicidade de metais em solução aquosa"; "Processos físicos e químicos na indústria mineral brasileira". Se os estudantes mencionarem outros temas sobre os quais gostariam de trabalhar e se aprofundar mais, avalie com eles a pertinência e decidam juntos pela troca de temas.

Para explorar a seção **Trabalho e juventudes**, sugerimos que proponha uma roda de conversa iniciada pela leitura coletiva do texto. Exercite a mediação garantindo que os estudantes explorem cada questão proposta, buscando debatê-las de forma a desenvolver as **competências gerais 7** e **9** e trabalhando os **TCTs Direitos da criança e do adolescente** e **Trabalho**. Além disso, as reflexões propostas nesta seção estão alinhadas à habilidade **EM13CNT207** e ao **ODS 8**.

Atividade complementar

Em outra abordagem, peça aos estudantes que pesquisem dados e mapas sobre os recursos minerais africanos e, para complementar, trabalhe de forma lúdica com o filme: PANTERA Negra. Direção de Ryan Coogler. Estados Unidos: Walt Disney Studios, 2018 (134 min), conforme sugerido na referência suplementar SILVA, C. R. F. *et al.* A África como tema para o ensino de metais: uma proposta de atividade lúdica com narrativas do Pantera Negra. **Revista Eletrônica Ludus Scientiae**, v. 2, n. 2, p. 39-56, 2018. Disponível em: https://revistas.unila.edu.br/relus/article/view/1505/1542. Acesso em: 25 out. 2024.

Proposta de avaliação

A avaliação da aprendizagem pode ser realizada, em caráter formativo, por meio das diferentes atividades propostas ao longo do capítulo. A seção **Atividades de fechamento**, ao final do capítulo, visa avaliar a aprendizagem dos estudantes em relação aos principais conteúdos abordados, incluindo questões de vestibular, a fim de preparar os estudantes para exames de larga escala.

Resoluções e comentários

Na prática – Como testar a condutividade elétrica dos materiais?

1. Espera-se que os estudantes observem resultado positivo nos testes envolvendo os seguintes materiais: mistura de bicarbonato de sódio dissolvido em água e moeda.
2. A lâmpada acende apenas quando em contato com materiais que têm a capacidade de conduzir corrente elétrica.
3. Para que um material conduza corrente elétrica, ele precisa apresentar partículas carregadas eletricamente em sua estrutura. Além disso, essas partículas precisam ter mobilidade na estrutura do material. O bicarbonato de sódio sólido é um composto iônico, em que os íons estão impedidos de se movimentar devido à formação do retículo cristalino. Já quando dissolvido em água, os íons do bicarbonato de sódio possuem liberdade de movimentação, o que permite a condução elétrica.
4. As luvas de borracha atuam como isolante elétrico, protegendo o profissional de eventuais choques elétricos.

Na prática – Ligação iônica ou ligação covalente?

1. Resposta pessoal. Neste momento, espera-se que os estudantes apliquem os conceitos estudados e classifiquem como iônicos os compostos formados por átomos de elementos metálicos combinados com átomos de elementos não metálicos; e, como covalentes, os compostos em que há somente átomos dos elementos não metálicos, combinados.

   Compostos iônicos: $NaC\ell$, KBr, CaS, MgO, Fe_2O_3, BaF_2, $LiC\ell$, $A\ell_2O_3$ e Ag_2S.

   Compostos covalentes: H_2O, $HC\ell$, CO_2, NO, H_2S e HI.
2. $A\ell_2S_3$ – $\Delta X = 2{,}0$ – composto iônico; $PC\ell_3$ – $\Delta X = 0{,}9$ – e CH_4 – $\Delta X = 0{,}4$ – compostos covalentes.
3. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes indiquem que a quantidade de átomos de cada elemento químico não é relevante, demonstrando a habilidade de abstrair e reduzir a complexidade do problema para focar a questão principal.

Aplique e registre

1. Alternativa **d**.
2. **I.** Incorreta. O aumento da diferença de eletronegatividade também aumenta o caráter iônico da ligação.
3. Alternativa **a**. Quanto maior a diferença de eletronegatividade, maior o caráter iônico. Portanto o cátion K^+ será o escolhido, pois apresenta menor eletronegatividade.
4. Existem muitos significados do termo "conduzir", empregados em diferentes contextos, como no sentido de arrastar ou puxar ("os cavalos conduziam a carruagem"); ou em Física, com significado de transmitir energia entre dois pontos diferentes. A charge emprega pelo menos dois dos significados do termo "conduzir", explorando o fato de o robô ser feito de metal, sendo, portanto, ótimo condutor elétrico, como explicado na abordagem das propriedades dos metais, devido à facilidade de movimentação dos elétrons no modelo de nuvem eletrônica. A outra forma utilizada é em relação à música, com significado de reger, dirigir uma orquestra. Esta questão permite a interdisciplinaridade com o componente curricular Língua Portuguesa.

5. Alternativa **c**. A liga metálica apresentada é condutora de eletricidade e possui baixa temperatura de fusão (343 K = 70 °C). Assim, pode ser utilizada como fusível de dispositivos eletroeletrônicos.
6. Alternativa **d**. A II é falsa, pois a condução de calor não altera o retículo cristalino metálico.
7. Os elementos químicos citados são: sexto período (ouro, Au); quinto período (prata, Ag); quarto período (cobre, Cu). A mistura entre esses metais é chamada de liga metálica.

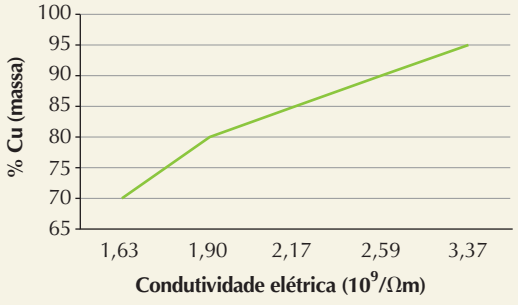
Trabalho e juventudes

1. Além de valorizar o potencial desses jovens, o programa incentiva a inclusão social e a geração de renda para o jovem. O programa também favorece a permanência dos jovens no município, que influi no desenvolvimento econômico e sustentável ao possibilitar o atendimento à demanda por profissionais qualificados na área de mineração, reduzindo a necessidade de contratação de profissionais de outras regiões.
2. Resposta pessoal. Além do programa que incentiva o ingresso do jovem no mercado de trabalho e sua profissionalização, os estudantes podem indicar, por exemplo, políticas públicas que favoreçam a locomoção e moradia dos jovens, como isenção de passagens de ônibus, moradias gratuitas para estudantes nas universidades, entre outras.
3. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes apresentem argumentos e se posicionem criticamente em relação aos benefícios e prejuízos gerados pela instalação de atividades de mineração, com base na análise dos impactos sociais e ambientais, como geração de empregos diretos e indiretos, aumento de renda, desenvolvimento urbano, evasão da população local, riscos de contaminação do solo e aquíferos, impactos nas atividades agropecuárias locais, entre outros.
4. Resposta pessoal. O objetivo dessa questão é levar o estudante a conhecer as diferentes profissões do setor de mineração, ampliando sua visão sobre as relações de trabalho para fazer escolhas alinhadas ao seu projeto de vida, como preconiza a **competência geral 6**.

Atividades de fechamento

1. Alternativa **c**. O composto X é macio, tem baixo valor de temperatura de fusão e não conduz eletricidade nas fases sólida e líquida. Estas são características dos compostos moleculares. Já Y é muito duro, possui alta temperatura de fusão e conduz eletricidade nas fases sólida e líquida. Estas são características de compostos metálicos. Por fim, Z é duro, possui elevado valor de temperatura de fusão e só conduz eletricidade no estado líquido. Estas são características dos compostos iônicos.
2. Alternativa **d**. Os materiais I, II e III são compostos de não metais. O material IV é composto de um metal, o ferro, e forma ligações metálicas.
3. **a.** O óxido crômico, ou óxido de crômio(III), é formado por um elemento químico metálico (crômio, Cr) e por um elemento químico não metálico (oxigênio, O). Portanto, trata-se de um composto iônico formado pelo cátion Cr^{3+} e pelo ânion O^{2-}.
   b. A representação I pode ser atribuída ao óxido crômico devido ao empacotamento de cátions e ânions, formando uma estrutura cristalina com interação simultânea entre os íons, em uma ligação iônica. Já no caso da representação II, podemos atribuí-la ao crômio, uma vez que retrata um modelo de nuvem eletrônica em uma ligação metálica.
   c. O metal crômio conduz eletricidade no estado sólido, o que pode ser explicado pelo modelo da nuvem eletrônica, que prevê elétrons com movimento livre na estrutura metálica. O retículo cristalino no óxido de crômio(III), por sua vez, é constituído por íons (cátions e ânions) atraindo-se em diversas direções e formando, assim, um agregado bastante organizado e com forte interação entre os íons, o que dificulta a condução da corrente elétrica no estado sólido. No estado líquido, no entanto, esses íons adquirem maior mobilidade, o que explica a condutibilidade elétrica da substância.
4. Polo positivo: SO_4^{2-}. Polo negativo: Fe^{2+}. Espera-se que os estudantes sejam capazes de, a partir da fórmula iônica, identificar a carga dos íons.
5. Substâncias iônicas: II e V. Substância metálica: IV.

   Substâncias iônicas conduzem corrente elétrica quando fundidas ou quando em solução aquosa, pois, nessas situações, o retículo cristalino encontra-se desfeito e os íons adquirem mobilidade. Substâncias metálicas, além de, geralmente, apresentar altas temperaturas de mudança de estado físico, como as substâncias iônicas, conduzem corrente elétrica em estado sólido devido aos elétrons livres da estrutura metálica. As amostras I e III são de substâncias moleculares, nas quais as ligações são covalentes e não compartilham dos padrões de propriedades observados para substâncias iônicas e metálicas.
6. **a.**



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

   b. O metal que apresenta maior condutividade elétrica é o cobre, pois, quanto maior a porcentagem desse elemento químico na liga metálica, maior a condutividade elétrica dessa liga. Deixe claro que essa conclusão é apenas para o exemplo da atividade; existem ligas que não apresentam linearidade entre a composição e a condutividade.
7. Esta atividade permite a interdisciplinaridade com o componente curricular Biologia e com a área Ciências Humanas e Sociais Aplicadas.
   a. O mercúrio é o único entre os metais que se apresenta líquido, a 25 °C e 1 atm. Tal característica facilita a formação do amálgama e sua coleta.
   b. O texto informa que, em relação ao processo de extração, o mercúrio tem facilidade em formar uma liga metálica com o ouro, chamada de amálgama, favorecendo a separação do ouro dos sedimentos presentes nos rios. Além disso, à mesma pressão, o mercúrio se funde e evapora a temperaturas menores que o ouro, o que possibilita a separação desses materiais por aquecimento e a obtenção do ouro.

c. Resposta pessoal. Os estudantes podem mencionar a marginalização social dos trabalhadores de garimpos, que geralmente não têm acesso às informações sobre a toxicidade dos materiais com os quais trabalham e são explorados por mineradoras em todo o mundo. O conhecimento químico poderia orientá-los a não se expor a tais materiais tóxicos; porém, sugere-se destacar para a turma que esse tipo de atividade exploratória está atrelado à participação de vários setores da sociedade, como o governo, a população, os órgãos ambientais, entre outros.

d. O texto traz a informação de que o mercúrio se funde e evapora a temperaturas relativamente baixas comparado a outros metais. Isso faz com que vapores dessa substância contaminem o ar e se espalhem pela atmosfera. Assim, não se alimentar de animais e plantas que contenham mercúrio não evita a contaminação, uma vez que os vapores dessa substância também podem estar presentes no ar, com risco de se difundir por longas distâncias.

Capítulo 4 Processos metalúrgicos extrativos

O foco deste capítulo é explorar processos metalúrgicos extrativos a partir do estudo das reações de combustão. Para tanto, sugerimos ele seja trabalhado em três etapas. Em cada uma, sugerimos o uso de metodologias ativas visando propiciar aos estudantes o protagonismo na construção de seu próprio conhecimento.

Objetivos de aprendizagem

Espera-se que, ao término deste capítulo, o estudante seja capaz de:

- reconhecer a ocorrência de reações de combustão em fenômenos e nos processos tecnológicos que o cercam, bem como os elementos fundamentais para que elas ocorram.
- distinguir as reações de combustão completa das reações de combustão incompleta.
- avaliar os riscos à saúde e os impactos ambientais associados à queima de combustíveis fósseis e aos produtos gerados nas reações de combustão.
- conhecer soluções e iniciativas para a diminuição dos danos causados pela liberação de gases gerados nas reações de combustão.
- representar as transformações químicas por meio de equações.
- analisar aspectos quantitativos das reações químicas.
- diferenciar os conceitos de quantidade de substância e quantidade de massa.
- realizar o balanceamento de equações químicas e cálculos estequiométricos.
- relacionar transformações químicas envolvidas em processos metalúrgicos com algumas de suas implicações ambientais e econômicas.

Por dentro da BNCC

- **Competências gerais:** 1, 5, 7, 9 e 10
- **Habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias:** EM13CNT101, EM13CNT104, EM13CNT205, EM13CNT303, EM13CNT306 e EM13CNT309
- **Tema contemporâneo transversal (TCT):** Ciência e tecnologia

Sugestões didáticas

Sugerimos que o capítulo seja iniciado com o uso da metodologia ativa de sala de aula invertida. Explique aos estudantes que, no período extraclasse, eles devem realizar a leitura dos textos indicados e pesquisados e farão anotações sobre eles. Esclareça que o capítulo 4 do Livro do Estudante é o material principal de estudo. Entretanto, disponibilize com antecedência outros materiais, como as referências suplementares indicadas a seguir.

AMATO, M. S. Estudo compara as emissões de CO_2 entre etanol e gasolina. **Portal Biossistemas Brasil**. USP, 2010. Disponível em: http://www.usp.br/portalbiossistemas/?p=557. Acesso em: 5 set. 2024.

ENTENDA os riscos do monóxido de carbono, gás que pode ter provocado a morte de seis brasileiros no Chile. **Ciência e Saúde G1**, 24 maio 2019. Disponível em: https://g1.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2019/05/24/entenda-os-riscos-do-monoxido-de-carbono-gas-que-pode-ter-provocado-a-morte-de-seis-brasileiros-no-chile.ghtml. Acesso em: 05 set. 2024.

MINISTÉRIO da Agricultura e Pecuária. Ano de 2023 foi o mais quente da história do Brasil. **Agência Gov**. Disponível em: https://agenciagov.ebc.com.br/noticias/202401/ano-de-2023-foi-o-mais-quente-da-historia-do-brasil. Acesso em: 5 set. 2024.

Sugira aos estudantes que realizem buscas em fontes de pesquisa confiáveis, como Scielo, Google Acadêmico, Portal da Capes, entre outras. Esse protagonismo na pesquisa auxilia no desenvolvimento da habilidade **EM13CNT303** e da **competência geral 7**, uma vez que, nessas plataformas, os estudantes exercitam a capacidade crítica diante da necessidade de avaliar informações e se apropriam do processo de elaboração de argumentos pautados na ciência.

A segunda etapa de condução do capítulo será baseada na estratégia *World café,* que envolve questões que conduzirão a aula com o intuito de estimular os estudantes a participar ativamente da discussão. Como terão de argumentar com base em princípios sustentáveis em prol da coletividade, eles desenvolverão a **competência geral 10** e a habilidade **EM13CNT101**.

Em sala de aula, oriente a formação de grupos de seis estudantes. O trabalho em grupo é importante, pois permite exercitar o respeito a diferentes formas de pensar, conhecer outros pontos de vista e trabalhar em conjunto para chegar a um consenso, desenvolvendo, assim, elementos da **competência geral 9**. Depois, explique aos grupos o procedimento e proponha as questões a seguir:

1. Quais são os conceitos quantitativos envolvidos no estudo dos processos químicos? Por que eles são importantes, especialmente quando estudamos processos siderúrgicos?
2. Cite duas situações do seu dia a dia em que é possível observar uma combustão completa e uma combustão incompleta. Qual é o combustível empregado em cada exemplo? Descreva cada reação de combustão por meio de uma equação química balanceada. Como você chegou a esses balanceamentos?
3. Como as reações de combustão podem prejudicar o ambiente? E a saúde humana? Explique como você chegou a essas respostas e exemplifique os impactos causados pelas reações de combustão.
4. O que pode ser feito para diminuir os efeitos prejudiciais causados pelas reações de combustão à saúde humana e ao ambiente? Dê exemplos de iniciativas e soluções e explique de que modo elas minimizam esses efeitos.

5. Qual é o combustível mais prejudicial para o ambiente: o álcool etanol (C_2H_5OH – derivado da cana-de-açúcar, milho ou beterraba), a gasolina (mistura de hidrocarbonetos que apresenta de 5 a 10 átomos de carbono por molécula, por exemplo, C_8H_{18} – derivada do petróleo) ou o *diesel* (mistura de hidrocarbonetos que apresenta de 15 a 25 átomos de carbono por molécula, por exemplo, $C_{16}H_{34}$ – derivado do petróleo)? Explique como você chegou a essa resposta.
6. Quais são as duas etapas principais de um processo pirometalúrgico? Quais são as vantagens e as desvantagens econômicas e ambientais desse processo?
7. Pesquise e comente a respeito de um exemplo de processo pirometalúrgico diferente daqueles apresentados no Livro do Estudante.

Durante a apresentação das respostas dos grupos para cada questão, aprofunde as informações acerca do assunto e discuta as possíveis dúvidas ou equívocos. A seção **Atividades de fechamento** pode ser usada para lhe auxiliar nessa discussão.

Para as questões 1 e 2, utilize as reações químicas escolhidas pelos estudantes para aprofundar o conteúdo e comparar os processos. É provável que utilizem exemplos mais acessíveis, como as reações de combustão completa e incompleta que envolvem o gás de cozinha (suponha ser apenas C_3H_8, mas na verdade é uma mistura de outros hidrocarbonetos), a gasolina (C_8H_{18}) ou uma vela (suponha que seja constituída apenas de pentacosano $C_{25}H_{52}$, mas é uma mistura de hidrocarbonetos sólidos).

Aproveite esse momento e pontue que, em um mesmo sistema, as combustões podem ocorrer de maneira completa e incompleta, por exemplo, a chama da combustão de uma vela tem duas regiões: uma com maior liberação de energia em razão da combustão completa (chama azul) e outra com menor energia, em que ocorrerá a combustão incompleta (chama laranja), devido à menor quantidade de gás oxigênio disponível, por causa da convecção de gases da base para o topo da chama.

O balanceamento de equações químicas tem sido apontado pela literatura como de difícil compreensão pelos estudantes. Estimule-os a utilizar o simulador apresentado no boxe **Fique por dentro** do Livro do Estudante, essa estratégia favorece o desenvolvimento da **competência geral 5**. Explore a seção **Atividade comentada**, que propõe a análise detalhada das etapas de balanceamento de uma equação química, fornecendo uma estratégia de estudo por meio da decomposição do problema em etapas.

Se achar conveniente, peça aos estudantes que expliquem como as reações de combustão completa se diferenciam das reações de combustão incompleta, ressaltando as diferenças de energia que elas liberam, os diferentes produtos e características. A discussão possibilitada nessas questões favorece o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT101**, uma vez que os estudantes precisam identificar, representar e analisar as transformações químicas presentes no cotidiano.

Quanto às concepções alternativas que envolvem o conceito de quantidade de substância, a referência suplementar a seguir relata a dificuldade que os estudantes têm em distingui-lo do conceito de quantidade de massa e em entender o índice das substâncias.

ROGADO, J. A grandeza quantidade de substância e sua unidade, o mol: algumas considerações sobre dificuldades de ensino e aprendizagem. **Ciência & Educação**, v. 10, n. 1, p. 63-73, 2004. Disponível em: https://www.scielo.br/pdf/ciedu/v10n1/05.pdf. Acesso em: 5 set. 2024.

Durante o balanceamento de equações, o uso de coeficientes estequiométricos fracionários pode induzir os estudantes a achar que a substância representada está sendo dividida pela metade (como é o caso dos $\frac{25}{2}$ mol de O_2 na reação de combustão completa da gasolina). Explique a diferença entre o índice e o coeficiente estequiométrico e, se necessário, aplique soluções matemáticas para representar os coeficientes usando números inteiros. Além disso, muitos relacionam o termo "mol" com "moléculas"; evidencie que a quantidade de substância (expressa em mol) pode relacionar diferentes espécies químicas, como íons, moléculas (átomos unidos por ligação covalente) ou átomos. Para ajudar no entendimento da quantidade de substância, você pode utilizar a estratégia proposta na referência suplementar:

MARCONDES, M. E. R.; LOURENÇO, I. M. B. Um plano de ensino para mol. **Química Nova na Escola**, n. 18, p. 22-25, 2003. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc18/A05.PDF. Acesso em: 5 set. 2024.

Retome também os conceitos de conservação de massa e leis ponderais, pois, em transformações químicas como as de combustão, os estudantes podem apresentar dificuldade em compreender a conservação da matéria – conforme aponta a referência suplementar a seguir –, uma vez que muitos não atribuem massa às substâncias gasosas.

FINZI, S. N.; PAIVA, A. G.; FALJONI-ALARIO, A. Um estudo sobre as concepções de um grupo de estudantes a respeito de transformações químicas. *In*: V Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. **Atas [...].** Bauru, 2005. p. 377-379. Disponível: https://abrapec.com/atas_enpec/venpec/conteudo/artigos/3/pdf/p828.pdf. Acesso em: 5 set. 2024.

Nas questões 3 e 4, aproveite para relembrar conceitos do efeito estufa e do aquecimento global e destacar as medidas de segurança envolvidas no uso de aquecedores a gás e de botijões de cozinha (explique sobre o acréscimo de etanotiol, C_2H_5SH, ao gás de cozinha como um sinalizador de vazamentos). Essa discussão auxilia os estudantes no desenvolvimento das habilidades **EM13CNT104** e **EM13CNT309**, já que os leva a avaliar os riscos à saúde e ao ambiente, discutindo medidas de segurança e estratégias para evitá-los. Esteja atento à confusão que os estudantes fazem ao não caracterizar o efeito estufa como um fenômeno natural ou ao confundi-lo com conceitos referentes à destruição da camada de ozônio, como relatado na referência suplementar a seguir.

SOUZA, E. V.; OLIVEIRA, M. S. M. L.; MENEZES, C. S. Concepções alternativas sobre o efeito estufa: implicações para o ensino de Ciências na educação básica. *In*: CONGRESSO Nordestino de Biólogos – Congrebio. **Anais [...].** João Pessoa, 2016. v. 6. Disponível em: http://congresso.rebibio.net/congrebio2016/trabalhos/pdf/congrebio2016-et-06-008.pdf. Acesso em: 5 set. 2024.

Você também pode desenvolver a interdisciplinaridade em conjunto com o professor do componente curricular Biologia, abordando as doenças causadas pela inalação de derivados de combustíveis fósseis, como asma e câncer de pulmão, além dos efeitos do monóxido de carbono no corpo humano. Essa discussão dos malefícios provocados à saúde por esses compostos propicia o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT306**.

A questão 5 pode ser trabalhada ao se comparar as equações químicas que representam as reações de cada substância citada e a quantidade de dióxido de carbono liberada a partir da queima pela combustão completa de 1 mol desses combustíveis. Para que os estudantes possam vislumbrar melhor a diferença entre cada grandeza e mensurar a quantidade de compostos produzidos, relacione a quantidade de substância de CO_2 com a

massa e a quantidade de moléculas dessa substância produzida em cada caso explorado. A discussão dos riscos do uso de combustíveis promove o trabalho com a habilidade **EM13CNT104**.

Ao explorar as questões 7 e 8, avalie se os estudantes compreendem que as duas principais etapas da pirometalurgia são a calcinação e a fusão e que, economicamente, esse processo é vantajoso por permitir a extração de metais em grandes quantidades e com alta pureza, porém, ambientalmente, apresenta a desvantagem de produzir volumes consideráveis de gases poluentes e resíduos sólidos que exigem tratamentos especializados para reduzir impactos ambientais.

Para explorar os aspectos quantitativos das transformações químicas e desenvolver a **competência geral 5**, se possível, reserve com antecedência a sala de informática e explore previamente o simulador PhET Reagentes, produtos e excessos (disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/reactants-products-and-leftovers; acesso em: 5 set. 2024). Você pode trabalhar no modo "Moléculas", com a formação de amônia. Nesse caso, peça aos estudantes que realizem inicialmente o balanceamento da equação. Proponha um cenário ideal, em que a pureza de todos os reagentes é 100% e, portanto, há 28 g de N_2 reagindo com 6 g de H_2 e produzindo 34 g de NH_3. Depois, proponha uma situação em que foram utilizados 56 g de N_2 e 6 g de H_2 (supondo 100% de pureza). Peça-lhes que verifiquem, por meio do simulador, qual é o reagente que está em excesso ou limitando a reação. Nesse ponto da atividade, deixe claro aos estudantes que cada molécula representada indica 1 mol da respectiva substância. Eles deverão converter essas quantidades em massa em quantidade de substância para que possam representar no simulador. Ao final, observarão o excesso de 1 mol de N_2 e que o H_2, nesse caso, é o reagente limitante.

O uso de simulador nesse caso auxilia os estudantes no trabalho com a conversão de nível microscópico (unidade em mol) para o nível macroscópico (massa), como destacado na referência suplementar SANTOS, A. F. **Ensino de estequiometria**: uma proposta de formação continuada. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019. Disponível em: https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/27116/10/EnsinoEstequiometriaProposta.pdf. Acesso em: 5 set. 2024.

Em situações reais, o rendimento da síntese de amônia também depende de fatores que afetam o equilíbrio da reação, como a temperatura e a pressão. Fique atento às concepções que os estudantes podem apresentar em relação à ideia de um gás não ter massa; esclareça essa questão utilizando como exemplo o ato de encher uma bexiga. Nesse momento, você pode mensurar o volume que esses gases ocupam, considerando que estejam em Condições Padrão de Temperatura e Pressão (CNTP).

Observe se existem dúvidas e, caso necessário, utilize outros exemplos de equações presentes no Livro do Estudante, como a reação de obtenção de ferro a partir da hematita ou a obtenção de ácido sulfúrico a partir de reações consecutivas de pirita. Além disso, as questões da seção **Atividades de fechamento** podem ser propostas para verificar a compreensão da turma.

Em seguida, explique o exemplo do minério de ferro apresentado no Livro do Estudante, mostrando, por meio de cálculos, a influência do reagente limitante para o rendimento da reação. O uso de modelos concretos ajuda a evidenciar que o reagente limitante determina a quantidade de produto formado, lembrando que a proporção estequiométrica da reação sempre se mantém, independentemente da quantidade de reagentes disponíveis para a reação química.

Ao final dessa etapa, você também pode conduzir a realização da seção **Em foco**, que permite o trabalho com o **TCT Ciência e Tecnologia** e com o **ODS 13**.

Finalize o capítulo incentivando os estudantes a refletirem sobre as questões do boxe **Reflita sobre seu aprendizado!**, favorecendo o desenvolvimento das **competências gerais 1** e **6**.

Proposta de avaliação

A avaliação da aprendizagem pode ser realizada, em caráter formativo, por meio das diferentes atividades propostas ao longo do capítulo. A seção **Atividades de fechamento**, ao final do capítulo, visa avaliar a aprendizagem dos estudantes em relação aos principais conteúdos abordados, incluindo questões de vestibular, a fim de preparar os estudantes para exames de larga escala.

Resoluções e comentários

Aplique e registre

1. Trata-se da combustão completa do metano (CH_4), com formação de dióxido de carbono e água, conforme equação química:

$$CH_4(g) + 2\ O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2\ H_2O(v)$$

2. **a.** $SnO_2(s) + 2\ H_2(g) \rightarrow Sn(s) + 2\ H_2O(g)$

b. $2\ C_4H_{10}(g) + 13\ O_2(g) \rightarrow 8\ CO_2(g) + 10\ H_2O(v)$

c. $H_2SO_4(aq) + CaCO_3(s) \rightarrow CaSO_4(s) + CO_2(g) + H_2O(\ell)$

d. $H_2SO_4(aq) + 2\ NaOH(aq) \rightarrow Na_2SO_4(aq) + 2\ H_2O(\ell)$

3. Os textos que completam as lacunas do quadro são: 2 moléculas de amônia; $18 \cdot 10^{23}$ moléculas de gás hidrogênio; 6 g de gás hidrogênio; 2 mol de moléculas de amônia; 6 mol de moléculas de gás nitrogênio; 12 mol de moléculas de amônia; $60 \cdot 10^{23}$ moléculas de nitrogênio; 340 g de amônia.

4. Equação química: $2\ Fe_2O_3(s) + 4\ C(s) + O_2(g) \rightarrow 4\ Fe(\ell) + 4\ CO_2(g)$

a.
$$2\ mol\ de\ Fe_2O_3 \text{ ——— } 4\ mol\ de\ Fe$$
$$320\ g\ de\ Fe_2O_3 \text{ ——— } 224\ g\ de\ Fe$$
$$160 \cdot 10^3\ g\ de\ Fe_2O_3 \text{ ——— } m(Fe)$$
$$m(Fe) = 112 \cdot 10^3\ g \text{ ou } 112\ kg$$

b.
$$2\ mol\ de\ Fe_2O_3 \text{ ——— } 4\ mol\ de\ C$$
$$320\ g\ de\ Fe_2O_3 \text{ ——— } 48\ g\ de\ C$$
$$160 \cdot 10^3\ g\ Fe_2O_3 \text{ ——— } m(C)$$
$$m(C) = 24 \cdot 10^3\ g \text{ ou } 24\ kg$$

c. Com base na proporção estequiométrica, sabe-se que 2 mol de óxido de ferro(III) produzem 4 mol de ferro metálico. Usando a regra de três chega-se ao seguinte cálculo:

$$n(Fe_2O_3) = \frac{8\ mol \cdot 2\ mol}{4\ mol} \therefore n(Fe_2O_3) = 4\ mol$$

Portanto, para produzir o dobro de quantidade de substância de ferro metálico, é necessário o dobro de quantidade de substância de óxido de ferro(III).

5. Alternativa **a**. A equação que representa a reação química descrita é:

$$SO_2(g) + Ca(OH)_2(aq) \rightarrow CaSO_3(s) + H_2O(\ell)$$
$$1\ mol\ de\ SO_2 \text{ ——— } 1\ mol\ de\ CaSO_3$$
$$25\ L\ de\ SO_2 \text{ ——— } 120\ g\ de\ CaSO_3$$
$$V(SO_2) \text{ ——— } 1200\ g\ de\ CaSO_3$$
$$V(SO_2) = 250\ L\ de\ SO_2$$

6. Alternativa **c**. Cálculo da massa de óxido de ferro(III), Fe_2O_3, na hematita com 85% de pureza:

Massa de Fe_2O_3		Pureza
500 kg	———	100%
$m(Fe_2O_3)$	———	85%

$m(Fe_2O_3) = 425$ kg de Fe_2O_3

1 mol de Fe_2O_3		2 mol de Fe
160 g de Fe_2O_3	———	112 g Fe
425 kg Fe_2O_3	———	m(Fe)

$m(Fe) = 297{,}5$ kg $\simeq 297$ kg

7. $M(CaSO_4) = 40\ g\ mol^{-1} + 32\ g\ mol^{-1} + (4 \cdot 16\ g\ mol^{-1}) = 136\ g\ mol^{-1}$

Quantidade de substância de $CaC\ell_2$		Massa de $CaSO_4$
1 mol	———	136 g
2 mol	———	$m_1(CaSO_4)$

$m_1(CaSO_4) = 272$ g

Massa de $CaSO_4$		Rendimento
272 g	———	100%
$m_2(CaSO_4)$	———	25%

$m_2(CaSO_4) = 68$ g

8. Multiplicando a primeira equação por 3 e a segunda equação por 2, podemos obter uma equação global representativa do processo:

$$6\ C(s) + 3\ O_2(g) \rightarrow 6\ CO(g)$$
$$6\ CO(g) + 2\ Fe_2O_3(s) \rightarrow 4\ Fe(s) + 6\ CO_2(g)$$

$$6\ C(s) + 3\ O_2(g) + 2\ Fe_2O_3(s) \rightarrow 4\ Fe(s) + 6\ CO_2(g)$$

6 mol de C	———	2 mol de Fe_2O_3
3 mol de C	———	1 mol de Fe_2O_3
↓		↓
$3\ mol \cdot 12\ g\ mol^{-1}$		$1\ mol \cdot 160\ g\ mol^{-1}$
36 g de C	———	160 g de Fe_2O_3
m	———	1.000 kg

$m = 225$ kg

Em foco

1. O hidrogênio possui alta densidade de energia, estabilidade, versatilidade e possibilidade de armazenamento e sua produção não gera gases poluentes. Além das vantagens citadas, a combustão de gás hidrogênio produz somente água, conforme representado:

$$2\ H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2\ H_2O(\ell)$$

2. Sim, pois a eletrólise da água produz apenas os gases hidrogênio e oxigênio, conforme representado a seguir:

$$2\ H_2O(\ell) \rightarrow 2\ H_2(g) + O_2(g)$$

3. O coque na produção de aço gera emissões significativas de dióxido de carbono devido à combustão do carvão mineral. O uso de gás hidrogênio pode reduzir drasticamente essas emissões, já que sua reação com o minério de ferro não tem poluentes como subproduto. O carvão vegetal pode ser uma alternativa de menor impacto, visto que as árvores sequestram carbono do ambiente durante seu crescimento. Diferente do carvão mineral, que aumenta as concentrações de CO_2 na atmosfera, o carvão vegetal pode ser neutro em emissões de carbono considerando um ciclo sustentável, com manejo adequado e replantio, evitando desmatamento e emissões adicionais. Caso contrário, o uso do carvão vegetal também pode ter um impacto negativo.

Atividades de fechamento

1. A reação de combustão completa do butano e representada por:

$$2\ C_4H_{10}(g) + 13\ O_2(g) \rightarrow 8\ CO_2(g) + 10\ H_2O(v)$$

Usando regra de três e levando em consideração os coeficientes estequiométricos da reação para o butano e o gás carbônico, chega-se ao seguinte cálculo para a massa de CO_2 liberada:

Massa de C_4H_{10} — Massa de CO_2

$$m(CO_2) = \frac{10\ g \cdot 8\ mol \cdot 44{,}0\ g\ mol^{-1}}{2\ mol \cdot 58{,}0\ mol^{-1}} \simeq 30{,}3\ g$$

Da mesma forma, a quantidade de substância de H_2O produzida pode ser calculada considerando a massa de butano que reage:

$$n(H_2O) = \frac{10\ g \cdot 10\ mol}{116\ g} \simeq 0{,}86\ mol$$

Durante a combustão de 10 g de butano, são produzidos, aproximadamente, 30,3 g de gás carbônico e 0,86 mol de água.

2. Alternativa **e**. Sendo a pureza do carvão igual a 80%, a quantidade em massa que participa da reação é:

$m(C) = 10\ kg \cdot 80\% = 8\ kg = 8.000$ g

De acordo com a equação química que descreve a combustão completa do carvão, concluímos que, a cada um mol de C consumido, é produzido um mol de CO_2. Assim, para calcular a quantidade de gás carbônico formado, podemos utilizar a relação entre a massa de carvão queimada e a quantidade de moléculas de CO_2 formada.

$$n(CO_2) = \frac{8.000\ g \cdot 6 \cdot 10^{22}\ \text{moléculas}}{12\ g} = 4{,}0 \cdot 10^{26}\ \text{moléculas}$$

3. Proporção $\frac{C}{H}$ no etino (C_2H_2): 1

Proporção $\frac{C}{H}$ no etano (C_2H_6): $\frac{1}{3}$

Portanto, o etino apresenta maior teor de carbono que o etano, o que leva à maior produção de fuligem durante a combustão incompleta e, consequentemente, à produção de chama mais luminosa.

4. A atividade requer a aplicação de conhecimentos sobre a lei da conservação da massa para que sejam previstos os valores de massa envolvidos na reação de síntese da água.

Sabendo que as massas das espécies envolvidas são conservadas, temos:

m(inicial) = m(final)

Logo, a soma das massas dos reagentes é igual à soma das massas do produto e do excesso (o que não reagiu).

$m(O_2) + m(H_2) = m(H_2O) + m(\text{excesso } H_2) + m(\text{excesso } O_2)$

Experimento 2:

$0{,}032\ g + 0{,}004\ g = 0{,}036\ g + m(\text{excesso } O_2) + 0{,}0\ g$

$\therefore\ m(\text{excesso } O_2) = 0{,}0$ g

Experimento 3:

$0{,}032\ g + m(H_2) = 0{,}036\ g + 0{,}0\ g + 0{,}002\ g$

$\therefore\ m(H_2) = 0{,}006$ g

Experimento 4:

$0{,}080\ g + 0{,}015\ g = 0{,}090\ g + 0{,}0\ g + m(\text{excesso } H_2)$

$\therefore m(\text{excesso } H_2) = 0{,}005\ g$

Atenção: esses valores também podem ser encontrados utilizando-se as proporções estequiométricas massa-massa.

a. A equação química balanceada da combustão do hidrogênio é:

$$2\ H_2(g) + O_2(g) \rightarrow H_2O(v)$$

b. A lei da conservação da massa. As explicações sobre o procedimento devem estar relacionadas à aplicação da teoria e dos cálculos de subtração, adição e/ou proporção.

c. Utilizando a proporção de massas do experimento 1, temos:

Massa de O_2		Massa de H_2
$(0{,}032\ g - 0{,}016\ g)$	———	$0{,}002\ g$
$m(O_2)$	———	$0{,}010\ g$

$m(O_2) = 0{,}080\ g$

d. Primeiramente, verifica-se qual é o reagente limitante da reação química. Utilizando a proporção de massas do experimento 1, temos:

Massa de O_2		Massa de H_2
$(0{,}032\ g - 0{,}016\ g)$	———	$0{,}002\ g$
$1{,}60\ g$	———	$m(H_2)$

$m(H_2) = 0{,}20\ g$

Para que todo o oxigênio seja consumido, é necessário 0,20 g de H_2, quantidade inferior aos 0,3 g disponíveis, o que permite concluir que o H_2 está em excesso e que o O_2 é o reagente limitante. Logo, relacionando as proporções em massa de O_2 e H_2O (experimento 1), temos:

Massa de O_2		Massa de H_2O
$(0{,}032\ g - 0{,}016\ g)$	———	$0{,}018\ g$
$1{,}60\ g$	———	$m(H_2O)$

$m(H_2O) = 1{,}8\ g$

5. a. Como a columbita apresenta pureza de Nb_2O_5 de 30%, tem-se:

$$m(Nb_2O_5) = \frac{30\% \cdot 5\ t}{100\%} = 1{,}5\ t$$

Portanto, a massa de pentóxido de nióbio presente em 5 t de columbita é de 1,5 t. Com base na estequiometria da reação, é possível determinar a massa de nióbio que pode ser obtida. Para isso, antes devemos calcular a massa molar de Nb_2O_5.

$m(Nb_2O_5) = 2 \cdot 93\ g\ mol^{-1} + 5 \cdot 16\ g\ mol^{-1} = 266\ g\ mol^{-1}$

Massa de Nb_2O_5		Massa de Nb
$3\ mol \cdot 266\ g\ mol^{-1}$	———	$6\ mol \cdot 93\ g\ mol^{-1}$
$1{,}5\ t$	———	$m(Nb)$

$$m(Nb) = \frac{1{,}5\ t \cdot 6\ mol \cdot 93\ g\ mol^{-1}}{3\ mol \cdot 266\ g\ mol^{-1}} \simeq 1{,}05\ t$$

Portanto, a massa de nióbio que poderia ser obtida nesse processo é de, aproximadamente, 1,05 t.

b. A proporção estequiométrica da reação indica que 3 mol de pentóxido de nióbio reagem com 10 mol de alumínio. Dessa forma, partindo de 1,5 t de Nb_2O_5, tem-se:

Massa de Nb_2O_5		Massa de Aℓ
$3\ mol \cdot 266\ g\ mol^{-1}$	———	$10\ mol \cdot 27\ g\ mol^{-1}$
$1{,}5\ t$	———	$m(A\ell)$

$$m(A\ell) = \frac{1{,}5\ t \cdot 10\ mol \cdot 27\ g\ mol^{-1}}{3\ mol \cdot 266\ g\ mol^{-1}} \simeq 1{,}5\ t$$

Ou seja, para reagir com 1,5 t de Nb_2O_5, é necessária 0,5 t de alumínio. Como foram usadas 2 t de Aℓ inicialmente, o alumínio está em excesso na reação. Portanto, a columbita é o reagente limitante.

c. O reagente em excesso é o alumínio, e sua massa em excesso é igual a $2{,}0\ t - 0{,}5\ t = 1{,}5\ t = 1{,}5 \cdot 10^6\ g$. Para calcular a quantidade de átomos de alumínio que restaram no fim da reação, devemos utilizar a massa molar de Aℓ e a constante de Avogadro, conforme cálculo a seguir.

$$\text{Átomos de } A\ell = \frac{1{,}5 \cdot 10^6\ g \cdot 6 \cdot 10^{23}\ \text{átomos}\ mol^{-1}}{27\ g\ mol^{-1}} \simeq$$

$\simeq 3{,}3 \cdot 10^{28}$ átomos de Aℓ

6. Alternativa **d**.

I. Correto. Equação da reação de combustão incompleta:

$$C_3H_8(g) + \frac{7}{2}\ O_2(g) \rightarrow 3\ CO(g) + 4\ H_2O(v)$$

Cálculo do volume de O_2 necessário para reagir com todo o C_3H_8:

Volume de C_3H_8		Volume de O_2
$1\ L$	———	$3{,}5\ L$
$50\ L$	———	$V(O_2)$

$V(O_2) = 175\ L$

Equação de combustão incompleta, considerando formação de fuligem, representada por C:

$$C_3H_8(g) + 2\ O_2(g) \rightarrow 3\ C(s) + 4\ H_2O(v)$$

Cálculo do volume de O_2 necessário para reagir com todo o C_3H_8:

Volume de C_3H_8		Volume de O_2
$1\ L$	———	$2\ L$
$50\ L$	———	$V(O_2)$

$V(O_2) = 100\ L$

Como no ar há apenas 20% de gás oxigênio, o volume de O_2 em 250 L de ar é: $250\ L \cdot 0{,}2 = 50\ L$.

Portanto, como não há gás oxigênio suficiente para uma combustão incompleta, restaria propano no reator.

II. Incorreto. Equação da reação de combustão completa:

$$C_3H_8(g) + 5\ O_2(g) \rightarrow 3\ CO_2(g) + 4\ H_2O(v)$$

Cálculo do volume de O_2 necessário para reagir com todo o C_3H_8:

$$\text{Volume de } O_2(g) = \frac{250\ L \cdot 100\%}{20\%} = 1.250\ L$$

Portanto, seriam necessários no mínimo 1.250 L de ar para que ocorresse a combustão completa.

III. Correto. Como não há gás oxigênio suficiente para a combustão completa do propano, é provável que ocorra a formação de fuligem.

7. a. Segundo a equação geral da reação de obtenção de ferro metálico por meio do óxido de ferro(III), principal constituinte da hematita, 2 mol de Fe_2O_3 reagem para formar 4 mol de ferro metálico, segundo a equação química:

$$2\ Fe_2O_3(s) + 4\ C(s) + O_2(g) \rightarrow 4\ Fe(\ell) + 4\ CO_2(g)$$

Dessa forma:

Massa de ferro		Massa de Fe_2O_3
$4\ mol \cdot 55{,}8\ g\ mol^{-1}$	———	$2\ mol \cdot 160\ g\ mol^{-1}$
1,68 t	———	$m(Fe_2O_3)$

$$m(Fe_2O_3) = \frac{1{,}68\ t \cdot 2\ mol \cdot 160\ g\ mol^{-1}}{4\ mol \cdot 55{,}8\ g\ mol^{-1}} \simeq 2{,}4\ t$$

b. Conforme calculado no item anterior, reagiram 2,4 t de Fe_2O_3. Considerando a massa inicial de 2,5 t, restou 0,1 t de impurezas.

c. Rendimento (%) $= \frac{2{,}4\ t}{2{,}5\ t} \cdot 100\% = 96\%$

8. Alternativa **b**. A equação da combustão completa do butano é:

$$C_4H_{10}(g) + \frac{13}{2}\ O_2(g) \rightarrow 4\ CO_2(g) + 5\ H_2O(v)$$

A proporção estequiométrica entre butano e gás carbônico é 1 : 4, ou seja, cada mol (58 g) de butano queimado gera 4 mol de CO_2 ($4\ mol \cdot 44\ g\ mol^{-1} = 176\ g$), que é lançado na atmosfera. Para atingir a meta e reduzir em 1 kg (1.000 g) a quantidade de CO_2 gerado por dia, a quantidade mínima de butano que os japoneses devem deixar de queimar diariamente é:

Massa de CO_2		Massa de C_4H_{10}
176 g	———	58 g
1.000 g	———	$m(C_4H_{10})$

$$m(C_4H_1O) = \frac{1.000\ g \cdot 58\ g}{176\ g} = 329{,}5\ g \simeq 0{,}33\ kg$$

Portanto, a massa de butano é, aproximadamente, 0,33 kg.

9. A reação de combustão completa do etanol pode ser representada pela equação química:

$$C_2H_5OH\ (\ell) + 3\ O_2\ (g) \rightarrow 2\ CO_2\ (g) + 3\ H_2O\ (\ell)$$

I. Do fluxograma extraímos a informação de que o gás oxigênio está em excesso; logo, o etanol é o reagente limitante. Desse modo, podemos calcular a massa de água que deve ser formada caso os 92 g de etanol apresentem 100% de pureza.

Massa de C_2H_5OH		Massa de H_2O
$1\ mol \cdot 46{,}0\ g\ mol^{-1}$	———	$3\ mol \cdot 18{,}0\ g\ mol^{-1}$
92,0 g	———	$m(H_2O)$

$m(H_2O) = 108\ g$

Se o etanol utilizado não apresentasse impurezas, 92 g de etanol produziriam 108 g de água. No entanto, foram produzidos apenas 81 g de água; logo:

Massa de H_2O		Pureza do reagente
108,0 g	———	100%
81,0 g	———	Pureza

Pureza = 75%

II. Foram produzidos 81 g de água. Considerando a relação entre as massas de água e de dióxido de carbono, a massa produzida de gás carbônico foi:

Massa de H_2O		Massa de CO_2
$3\ mol \cdot 18{,}0\ g\ mol^{-1}$	———	$2\ mol \cdot 44{,}0\ g\ mol^{-1}$
81,0 g	———	$m(CO_2)$

$m(CO_2) = 132\ g$

III. Considerando as condições normais de temperatura e pressão, o volume molar de um gás é 22,4 L. Desse modo, foram produzidos:

Massa de CO_2		Volume de CO_2
44,0 g	———	22,4 L
132 g	———	$V(CO_2)$

$V(CO_2) = 67{,}2\ L$

Portanto, os textos que completam o esquema são: I – 75% de pureza; II – 132 g CO_2; III – 67,2 L CO_2.

10. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes indiquem em seus textos que a Química Verde busca desenvolver produtos e processos químicos mais seguros e sustentáveis, reduzindo danos ao ambiente e à saúde humana. Na mineração, sua aplicação poderia incluir o desenvolvimento de métodos de extração com menos resíduos, gestão de resíduos mais segura, monitoramento ambiental avançado e uso de materiais mais sustentáveis nas estruturas, contribuindo para a prevenção de desastres como o que ocorreu em Mariana-MG, em 2015. Esta atividade favorece a interdisciplinaridade com os componentes curriculares Biologia e Língua Portuguesa e com a área de Ciências Humanas e Sociais.

Reflita sobre seu aprendizado!

Solicite aos estudantes que também utilizem as perguntas dessa seção para autoavaliar suas compreensões sobre as principais ideias discutidas nesta unidade. Proponha a eles que retomem as respostas da seção **Pense nisso!** que elaboraram no início do estudo desta unidade e as reescrevam com base nos seus conhecimentos atuais sobre os temas estudados. A autoavaliação do processo de aprendizagem favorece tanto o desenvolvimento da metacognição como o autoconhecimento, viabilizando, portanto, a mobilização das **competências gerais 1 e 6**. Em conjunto com a autoavaliação dos estudantes, utilize as elaborações deles ao longo de todo o trabalho como forma de avaliar a aprendizagem continuamente, identificando e dirimindo as lacunas de compreensão.

Educação midiática

A seção tem como objetivo que os estudantes desenvolvam as habilidades de:

- Analisar as perspectivas ideológicas que atravessam informações sobre fatos socioambientais.
- Identificar o posicionamento dos autores da informação e os pontos de vista que permeiam a escolha de palavras e termos específicos.
- Explorar diferentes perspectivas para o mesmo fato e refletir sobre a importância da pluralidade de pontos de vista para a formação de uma visão complexa da realidade.
- Expressar opinião de forma embasada na exploração e análise de múltiplos vieses.

Para explorar a seção, é preciso ter em mente que, durante muito tempo, ouvimos falar que o jornalismo e, em especial, a notícia, eram isentos e imparciais. Essas ideias, no entanto, eram mais interessantes do ponto de vista do *marketing* do que da prática comunicacional dos veículos de imprensa, uma vez que os jornais e as revistas precisavam vender-se como neutros e isentos, características convincentes para conquistar adesão, por meio de assinaturas, ou fidelidade da audiência.

Atualmente, no entanto, no próprio âmbito jornalístico prefere-se usar os termos "objetividade" e "confiabilidade" em vez

de "imparcialidade" e "neutralidade". Isso porque o discurso jornalístico tenta minimizar (embora não anular completamente) a subjetividade de seu enunciador por meio de um relato mais descritivo e sem intenção de atribuir juízos de valor. Além disso, a notícia se constrói de acordo com um processo de apuração dos fatos, isto é, de uma investigação fundamentada de critérios e métodos jornalísticos, voltada à coleta de evidências acerca de um fato. É isso que torna a notícia confiável.

Ao explorar as duas questões reflexivas propostas inicialmente, é esperado que os estudantes reconheçam que o termo "acidente", do trecho I, é empregado no sentido de buscar a isenção de responsabilidade, por parte da empresa, pelo ocorrido, e transmite ao leitor a ideia de que o fato não foi intencional. No trecho II, o termo "crime ambiental", por outro lado, culpabiliza a empresa pelo rompimento das barragens, atribuindo-lhe responsabilidade e transmitindo a ideia de que ela precisa arcar com as consequências ambientais e sociais do ocorrido. Já no trecho III, a utilização do termo "tragédia" exprime um reconhecimento dos prejuízos ambientais e materiais do ocorrido sem, no entanto, culpabilizar a empresa ou qualquer outro agente.

As respostas esperadas para as atividades propostas no tópico **Ampliação de repertório** são:

1. Os veículos são: I. *Site* institucional da empresa Samarco, acusada de ser a responsável pelo rompimento das barragens; II. Portal de notícias UOL, uma empresa privada de jornalismo; III. *Site* da Agência Brasil, uma entidade pública governamental de comunicação social.
2. O conteúdo da Samarco tem a intenção de divulgar seu envolvimento nas soluções do problema causado pelo rompimento das barragens, sem, no entanto, implicar-se como responsável. O conteúdo do UOL, de caráter informativo, noticia o entendimento do Conselho Nacional de Direitos Humanos (CNDH) sobre o que representou o fato. Apesar de se referir ao episódio como crime, não se trata da opinião do veículo nem do autor da notícia, mas da informação acerca do posicionamento da comissão. Por fim, o conteúdo da Agência Brasil é informar sobre o Termo de Transação e Ajustamento de Conduta (TTAC) pactuado entre os envolvidos no fato, sem, no entanto, destacar culpados.
3. A Samarco informa sobre o ocorrido no lugar de envolvida no fato e acusada pelos prejuízos socioambientais envolvidos. O portal UOL informa como um veículo privado de imprensa e, por destacar o posicionamento do CNDH, posiciona-se ainda que de modo implícito, responsabilizando a empresa pelos danos sociomabientais causados. Por fim, a Agência Brasil informa, como uma empresa pública de comunicação, sobre o TTAC assinado entre as partes, sem destacar culpados.
5. Oriente os estudantes a usar buscadores, como o Google, para localizar notícias e outros conteúdos jornalísticos mais aprofundados sobre o tema, que apresentem diferentes posicionamentos sobre o ocorrido.
6. No contexto da atividade proposta, o termo "consenso" se refere à convergência de opiniões entre especialistas, sociedade civil e comunidade científica sobre determinado tema. Isso significa que, após a análise crítica de diversas fontes de informação confiáveis, o estudante deve concluir se há uma posição majoritária e bem fundamentada sobre o tema em questão. As "evidências" mencionadas na atividade se referem aos dados, fatos e argumentos que sustentam a existência ou não de consenso sobre o tema.

No tópico **Produção de conteúdo** é sugerida a elaboração de um artigo que apresente um posicionamento crítico e argumentos em relação à situação discutida. Espera-se que os estudantes sejam capazes de expressar nesse texto uma opinião embasada na exploração e análise dos múltiplos vieses envolvidos no contexto.

A **Autoavaliação**, ao final da seção, apresenta alguns critérios para a autoavaliação dos estudantes. Caso considere pertinente, monte uma tabela de rubricas considerando os níveis de desempenho: avançado, adequado, satisfatório e insuficiente para cada um dos critérios sugeridos. Sugerimos a referência suplementar MENDONÇA, A. P.; COELHO, I. M. W. da S. Rubricas e suas contribuições para a avaliação de desempenho de estudantes. *In*: SOUZA, A. C. R. de *et al*. **Formação de professores e estratégias de ensino**: perspectivas teórico-práticas. Curitiba: Appris, 2018. p. 109-125.

UNIDADE 2 ENERGIA E SUSTENTABILIDADE

Oriente os estudantes a fazerem uma análise da imagem de abertura da unidade, seguida da leitura da sua legenda e do texto. Depois, pergunte a eles qual é a relação entre descarte de resíduos, em especial resíduos plásticos, economia de energia e sustentabilidade, verificando qual é o nível de conhecimento deles sobre esses conceitos, já trabalhados no Ensino Fundamental, favorecendo, assim, o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT203** e **EM13CNT206**. Abra espaço para analisar as questões socioambientais e relacioná-las a escolhas políticas e econômicas; assim, os estudantes trabalham parcialmente a habilidade **EM13CNT309**.

1. Espera-se que os estudantes mencionem que a manutenção da temperatura corpórea, entre outras funções fisiológicas, ocorre constantemente graças à energia obtida dos alimentos.
2. Espera-se que os estudantes expliquem que, ao deixar a polpa da fruta exposta, o gás oxigênio presente no ar reage com substâncias presentes na fruta, causando o seu escurecimento, o que pode ser considerado uma evidência de transformação química. A vitamina C age como um antioxidante, ou seja, ela reage preferencialmente com O_2, minimizando o escurecimento das frutas.
3. Espera-se que os estudantes relatem que dispositivos como pilhas e baterias, sobretudo os recarregáveis, permitiram o desenvolvimento de eletrônicos portáteis como celulares, *notebooks* e *smartphones*, que alteraram a forma e a velocidade com que nos comunicamos, além de marca-passos e dispositivos com mais demanda energética, como automóveis elétricos.
4. A contínua pesquisa em biocombustíveis é importante, pois o aumento da utilização de biocombustíveis está relacionado com a sustentabilidade ambiental.

Capítulo 5 Termoquímica

O foco deste capítulo é explorar os processos termoquímicos de forma integrada às diferentes áreas das Ciências da

Natureza e suas Tecnologias. Para isso, uma possibilidade é o recurso didático denominado Situações de Estudo (SE), que, segundo Mori e Cunha (2020), trata da problematização do conhecimento dos estudantes para motivá-los a participar ativamente da construção dos conhecimentos científicos.

Objetivos de aprendizagem

Espera-se que, ao término deste capítulo, o estudante seja capaz de:

- relacionar processos termoquímicos e metabolismo de alimentos no organismo.
- descrever aspectos energéticos específicos do tipo de nutriente e relacioná-los às demandas diárias do organismo, em razão da prática de atividades físicas e mentais.
- explicar a variação de entalpia nos processos endotérmicos e exotérmicos durante as transformações da matéria.
- calcular a variação de entalpia dos processos físicos e das reações químicas utilizando os valores de entalpia padrão e a lei de Hess.
- calcular a variação de entalpia de uma reação química a partir das entalpias de rompimento e formação de ligações entre átomos.

Por dentro da BNCC e dos TCTs

- **Competências gerais:** 1, 2, 4, 7, 8, 9 e 10
- **Habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias:** EM13CNT101, EM13CNT105, EM13CNT207, EM13CNT301, EM13CNT302, EM13CNT303, EM13CNT306 e EM13CNT307
- **Tema contemporâneo transversal:** Saúde

Sugestões didáticas

Organize os estudantes em grupos de cinco integrantes. Em seguida, possibilite a eles a exposição de suas concepções prévias acerca das situações do cotidiano que envolvem a relação entre energia e matéria, como cozinhar, alimentar-se e locomover-se usando meios de transporte. Para isso, pergunte aos estudantes:

1. Por que alguns alimentos são ditos "ricos em energia"?
2. Qual é a semelhança entre os combustíveis necessários ao funcionamento do organismo humano e os combustíveis responsáveis pelo funcionamento de um automóvel?
3. Por que o motor de um automóvel esquenta?
4. O que significa cozinhar um alimento e por que essa prática é importante?
5. Por que utilizamos panelas metálicas para o cozimento dos alimentos?
6. O que significa "medir a temperatura" de algo?
7. Por que, nos veículos, o etanol é consumido mais rapidamente do que a gasolina?
8. Por que precisamos de energia elétrica, solar ou a gás para esquentar a água do chuveiro durante o inverno?

Peça aos estudantes que leiam o capítulo 5 no período extraclasse e anotem as principais ideias e dúvidas que tiverem. Em sala de aula, inicie o estudo solicitando-lhes que compartilhem suas aprendizagens e dificuldades acerca da leitura.

Durante a discussão dos grupos, preste atenção aos eventuais equívocos que surgirem. Alguns estudos da Termoquímica no ensino de Química têm sugerido que, antes de que se proceda a estudos mais complexos, primeiro sejam aprofundados os conceitos de calor e temperatura, já estudados no Ensino Fundamental. Esses conceitos constituem as principais fontes de concepções alternativas dos estudantes que podem prejudicar os estudos posteriores, caso não tenham sido esclarecidas. Se desejar, consulte a referência suplementar: SOUZA, V. C. de A.; JUSTI, R. Interlocuções possíveis entre linguagem e apropriação de conceitos científicos na perspectiva de uma estratégia de modelagem para a energia envolvida nas transformações químicas. **Revista Ensaio**, v. 13, n. 2, p. 31-46, 2011. Disponível em: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=129519166003. Acesso em: 8 set. 2024.

Retome a discussão mencionando que as plantas sintetizam alimento (glicose) a partir de CO_2 e H_2O, usando a luz do Sol como fonte de energia. Esses combustíveis podem, depois, ser utilizados pelo corpo humano para liberar energia necessária à realização de nossas principais atividades. Essa discussão é importante para a promoção da habilidade **EM13CNT101**, tendo em vista que permite estudar as variações de entalpia nos processos que envolvem matéria e energia.

Outra discussão que pode ser realizada baseia-se na apresentação das classes de substâncias que são fontes de energia (carboidratos, lipídios e proteínas), na forma como podem ser obtidas por meio da alimentação e no uso delas pelos seres vivos para suprir suas necessidades diárias, promovendo assim o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT101** e **EM13CNT307**, relacionando os nutrientes às demandas energéticas dos organismos.

Para aprofundar o estudo das reações termoquímicas, sugerimos explorar a **Atividade comentada** presente no Livro do Estudante.

A atividade **Na prática** possibilita trabalhar os quatro pilares do pensamento computacional, ao mobilizar sete habilidades dessa estratégia para resolução de problemas: a **coleta de dados**, a **análise de dados**, a **representação de dados**, a **decomposição de problemas**, a **abstração**, a **simulação** e a **elaboração de algoritmos e procedimentos**. A atividade também permite o desenvolvimento das **competências gerais 2**, **4** e **5** e das habilidades **EM13CNT101**, **EM13CNT105**, **EM13CNT301** e **EM13CNT302**.

Organize os estudantes em grupos e os auxilie na execução da atividade. Incentive-os a elaborar propostas de complementação para o algoritmo. Finalize a aula propondo o formato (cartazes físicos ou digitais) das entregas, a data da aula destinada à continuação da atividade e o tempo máximo para a apresentação dos fluxogramas elaborados pelas equipes. Além do desenvolvimento da **competência geral 4**, ao optar pela confecção de cartazes digitais, favorece-se também o desenvolvimento da **competência geral 5**.

Para aprimorar a interpretação em nível atômico-molecular dos processos endotérmicos e exotérmicos e favorecer o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT101**, pode-se consultar o seguinte trabalho: BARROS, H. L. C. Processos endotérmicos e exotérmicos: uma visão atômico-molecular. **Química Nova na Escola**, v. 31, n. 4, 2009. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc31_4/04-CCD-7008.pdf. Acesso em: 8 set. 2024.

Como forma de retomar e formalizar o que foi abordado a respeito dos alimentos, proponha a realização da seção **Em foco**, que aborda o **TCT Saúde** e permite a interdisciplinaridade com o componente curricular Biologia e o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT207**, **EM13CNT303** e **EM13CNT306** e da **competência geral 8**. Oriente os estudantes a lerem o texto e realizarem a pesquisa solicitada em casa para que, em sala, os grupos realizem os debates propostos, de forma a desenvolver a capacidade argumentativa, conforme preconizado pela **competência geral 7**.

Ao final, peça aos estudantes que apresentem as conclusões do grupo a respeito do que aprenderam durante as aulas sobre o capítulo. Cada grupo deverá escolher como tema de estudo e apresentação uma das oito perguntas debatidas no início do trabalho com o capítulo. A apresentação ao restante da turma pode ser inspirada nas apresentações da competição de divulgação científica FameLab

Brasil. Cada grupo terá três minutos para a apresentação e deverá explorar os aspectos macroscópicos e submicroscópicos em termos científicos. Essas apresentações em diferentes linguagens visam à promoção da **competência geral 4**. Fique atento para corrigir possíveis equívocos conceituais dos estudantes e fazer uma síntese das principais ideias aprendidas por eles durante o capítulo.

Proposta de avaliação

A avaliação da aprendizagem pode ser realizada, em caráter formativo, por meio das diferentes atividades propostas ao longo do capítulo. A seção **Atividades de fechamento**, ao final do capítulo, visa avaliar a aprendizagem dos estudantes em relação aos principais conteúdos abordados, incluindo questões de vestibular, a fim de preparar os estudantes para exames de larga escala.

Resoluções e comentários

Aplique e registre

1. **a.** Endotérmico.
b. Endotérmico.
c. Exotérmico.
d. Exotérmico.

2. $Q = m\,c\,\Delta T$

$Q = 1.000\ g \cdot 1\ cal\ g^{-1}\ °C^{-1} \cdot 2{,}7\ °C = 2.700\ cal$ ou $2{,}7\ kcal$

Convertendo a quantidade de massa do gás A utilizada em quantidade de substância, temos:

2 g de gás A ——— 1 mol
0,080 g de gás A ——— x

$x = 0{,}04$ mol do gás A.

Podemos agora calcular a energia liberada quando 1 mol de gás A reage com a quantidade de substância adequada de gás B:

0,04 mol de A ——— 2,7 kcal
1 mol de A ——— Q'

$Q' = 67{,}5$ kcal, ou seja, 67,5 kcal mol^{-1}

3. 16 g de CH_4 (1 mol) ——— 208 kcal
1 g de CH_4 ——— x

$x = 13$ kcal

4. **a.** $N_2(g) + 3\,H_2(g) \rightarrow 2\,NH_3(g) \quad \Delta H_r = -92$ kJ

b. $CaCO_3(s) \rightarrow CaO(s) + CO_2(g) \quad \Delta H_r = +180$ kJ

c. $C_4H_{10}(g) + \frac{13}{2}\,O_2(g) \rightarrow 4\,CO_2(g) + 5\,H_2O(\ell)$

$\Delta H_r = -2.878$ kJ

5. Alternativa **d**. Em um processo endotérmico, a entalpia dos produtos (H_f) é maior que a dos reagentes (H_i).

6. A combustão completa do propano produz dióxido de carbono e água segundo a equação balanceada:

$C_3H_8(g) + 5\,O_2(g) \rightarrow 3\,CO_2(g) + 4\,H_2O(\ell)$

Considerando a entalpia de formação do gás oxigênio igual a zero, temos:

$\Delta H = [3 \cdot (-94) + 4 \cdot (-68)] - [-25]$

$\Delta H = -282 - 272 + 25$

$\Delta H = -529$ kcal mol^{-1}

A combustão incompleta do propano produz monóxido de carbono e água segundo a equação balanceada:

$C_3H_8(g) + \frac{7}{2}\,O_2(g) \rightarrow 3\,CO(g) + 4\,H_2O(\ell)$

Considerando a entalpia de formação do gás oxigênio igual a zero, temos:

$\Delta H = [3 \cdot (-26) + 4 \cdot (-68)] - [-25]$

$\Delta H = -78 - 272 + 25$

$\Delta H = -325$ kcal mol^{-1}

Comparando a energia liberada nos dois processos:

529 kcal mol^{-1} ——— 100%
325 kcal mol^{-1} ——— x

$x = 61{,}44\%$

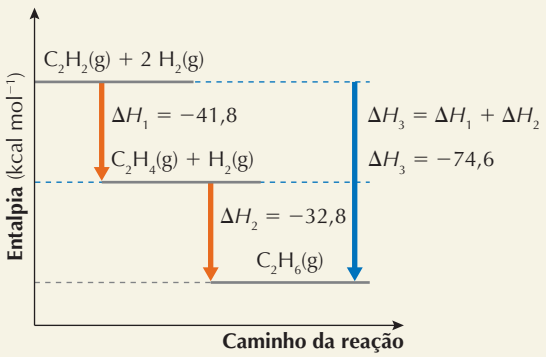
$100\% - 61{,}44\% = 38{,}56\%$

Logo, a produção de energia por meio da combustão incompleta é quase 40% menor.

7. Deve-se rearranjar as equações de modo que sua soma global resulte na equação de formação da ureia a partir de amônia e gás carbônico. Assim, obtêm-se que a variação de entalpia dessa reação é de –134 kJ mol^{-1}, conforme demonstrado no quadro a seguir.

Equação	Ação	Equação	Variação de entalpia
1ª	Inverter	$2\,NH_3(g) \rightarrow N_2(g) + 3\,H_2(g)$	$\Delta H_r = +92$ kJ
2ª	Multiplicar por três	$3\,H_2(g) + \frac{3}{2}\,O_2(g) \rightarrow 3\,H_2O(\ell)$	$\Delta H_r = -858$ kJ
3ª	Inverter	$CO_2(g) + 2\,H_2O(\ell) + N_2(g) \rightarrow CO(NH_2)_2(s) + \frac{3}{2}\,O_2(g)$	$\Delta H_r = +632$ kJ
Equação global		$2\,NH_3(g) + CO_2(g) \rightarrow CO(NH_2)_2(s) + H_2O(\ell)$	$\Delta H_r = -134$ kJ

8. Pode-se identificar no gráfico a reação indicada e sua entalpia (ΔH_3):



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Note que ΔH_3 corresponde à soma de ΔH_1 e ΔH_2. Portanto, a variação da entalpia desta reação será de –74,6 kcal mol^{-1}, tratando-se de uma reação exotérmica.

9. As ligações rompidas são: H — H e O = O. As ligações formadas são: O — H. Como se trata de uma combustão, espera-se que o valor de entalpia calculado seja negativo, pois se trata de uma reação exotérmica.

10. Para calcular a energia potencial química devem-se somar as energias de ligação rompidas (H — F = 567 kJ mol^{-1} e H — Cℓ = 368 kJ mol^{-1}) e a energia de ligações formadas (H — Cℓ = –431 kJ mol^{-1} e C — F = –485 kJ mol^{-1}).

Energia = (567 + 328) + (–431 – 485) = –21

Na prática

1. Os estudantes podem propor a seguinte substituição: A fórmula da glicose sendo representada pela letra A; a do gás oxigênio, pela letra B; a do gás carbônico, pela letra C; a da água, pela letra D; a do grafite, pela letra E; e a do gás hidrogênio, pela letra F. Dessa forma, as equações seriam reescritas como:

Equação global: $A + 6\,B \rightarrow 6\,C + 6\,D \quad \Delta H_c^o = ?$

Equação parcial 1: $6\,E + 6\,F + 3\,B \rightarrow A \quad \Delta H_f^o = -1.268$ kJ mol^{-1}

Equação parcial 2: $E + B \rightarrow C \quad \Delta H_f^o = -393{,}5$ kJ mol^{-1}

Equação parcial 3: $F + \frac{1}{2}\,B \rightarrow D \quad \Delta H_f^o = -285{,}8$ kJ mol^{-1}

2. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes identifiquem que a aplicação da lei de Hess é essencialmente quantitativa em detrimento da qualitativa; por isso, as fórmulas químicas podem ser relativizadas.

3. Todas as ações indicadas nos blocos retangulares do fluxograma representam padrões que podem ser utilizados na resolução de outras situações-problema envolvendo cálculos semelhantes baseados na lei de Hess.

Em foco

1. Espera-se que os estudantes identifiquem em suas pesquisas que a taxa de metabolismo basal está associada a funções vitais como respiração, circulação sanguínea, regulação da temperatura corporal e manutenção das funções celulares básicas.

2. Os termogênicos, como a cafeína e a capsaicina, aceleram o metabolismo, mas o aumento no gasto energético que proporcionam é relativamente baixo, contribuindo com apenas 4% a 5% das calorias diárias. Isso não é suficiente para uma perda significativa de massa corporal, pois representa, por exemplo, apenas cerca de 100 kcal a menos para um adulto de 80 kg, o que não é efetivo para emagrecer.

3. Espera-se que os estudantes apresentem argumentos a favor que mencionem: a estimulação do metabolismo, a prática de atividades físicas e a supressão do apetite. Alguns argumentos contrários podem mencionar: os efeitos colaterais, a falta de regulamentação do uso e os casos de dependência ao suplemento.

Atividades de fechamento

1. As afirmações **III** e **V** estão corretas. A **I** é incorreta, pois, se o objeto de zinco tivesse cedido calor ao objeto de ferro, a temperatura do objeto de zinco teria diminuído, o que não foi observado. A **II** é incorreta, pois, apesar de termicamente isolado, o sistema era constituído pelos três objetos de metal em contato uns com os outros. O aumento da temperatura de dois dos objetos indica que houve a transferência de energia em forma de calor entre eles. A **IV** é incorreta, pois, como o sistema estava termicamente isolado e as temperaturas dos objetos de latão e de zinco aumentaram, o único objeto que poderia ter cedido calor seria o de ferro. Dessa forma, a temperatura desse objeto diminuiu.

2. Alternativas **a** e **c**. A alternativa **b** está incorreta, pois os processos endotérmicos se caracterizam por absorver energia da vizinhança para o sistema na forma de calor.

3. O processo é endotérmico, porque há transferência de energia na forma de calor do corpo para o suor.

4. Alternativa **b**. Nesse procedimento, há liberação de energia na forma de calor; por isso, no início do processo, a entalpia era maior que no final do processo.

5. Como a combustão é uma reação exotérmica, a equação termoquímica de combustão de 1 mol de glicose é dada por:

$C_6H_{12}O_6(s) + 6\,O_2(g) \rightarrow 6\,CO_2(g) + 6\,H_2O(\ell) \quad \Delta H_r = -2{,}8 \cdot 10^6$ J

A equação termoquímica da reação inversa, ou seja, de síntese de 1 mol de glicose, é dada por:

$6\,CO_2(g) + 6\,H_2O(\ell) \rightarrow C_6H_{12}O_6(s) + 6\,O_2(g) \quad \Delta H_r = +2{,}8 \cdot 10^6$ J

Como a variação de entalpia para a síntese de 1 mol de glicose é positiva, a reação é endotérmica, ou seja, a planta absorve $2{,}8 \cdot 10^6$ J de energia. Logo, para a síntese de 0,5 mol, temos:

Quantidade de substância de $C_6H_{12}O_6$		Quantidade de energia
1 mol	———	$2{,}8 \cdot 106$ J
0,5 mol	———	x

$x = +1{,}4 \cdot 10^6$ J

6. Alternativa **e**.

$Q = m \cdot c \cdot t = 30.000 \cdot 1 \cdot (36 - 16)$

$Q = 600$ kcal

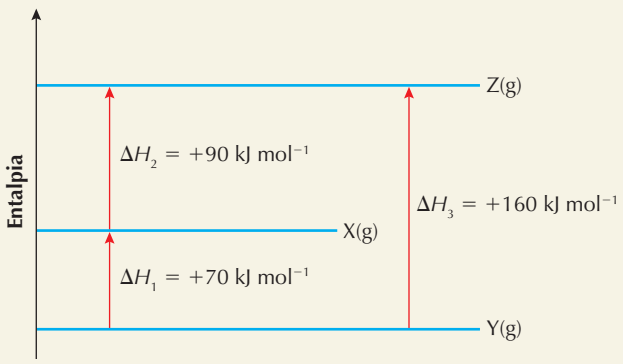
7. **a.** Utilizando a lei de Hess, é possível calcular a variação de entalpia da reação, mesmo sem conhecer a identidade dos produtos e dos reagentes. A lei de Hess estabelece que, se uma reação for executada em uma série de etapas, o valor de ΔH da reação será igual à soma das variações de entalpia das etapas individuais. Para obtermos a equação termoquímica requisitada, é necessário inverter a primeira equação fornecida e somá-la à segunda:

$Y(g) \rightarrow X(g) \quad \Delta H_1 = +70$ kJ mol^{-1}

$X(g) \rightarrow Z(g) \quad \Delta H_2 = +90$ kJ mol^{-1}

$Y(g) \rightarrow Z(g) \quad \Delta H_r = +160$ kJ mol^{-1}

b.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

8. Equação química da reação de combustão de 2 mol de metanol:

$$2\ CH_4O(\ell) + 3\ O_2(g) \rightarrow 2\ CO_2(g) + 4\ H_2O(\ell)$$

Sendo conhecidos os seguintes valores de ΔH°_f:

$C(graf) + 2\ H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow CH_4O(\ell)$

$\Delta H^\circ_f = -238{,}6\ kJ\ mol^{-1}$

$C(graf) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$

$\Delta H^\circ_f = -393{,}5\ kJ\ mol^{-1}$

$H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow H_2O(\ell)$

$\Delta H^\circ_f = -285{,}8\ kJ\ mol^{-1}$

Invertendo a primeira equação e multiplicando-a por 2, multiplicando a segunda por 2 e multiplicando a terceira por 4, obtemos, pela soma das equações parciais, a equação global que representa a combustão de 2 mol de metanol:

$2\ CH_4O(\ell) \rightarrow 2\ C(graf) + 4\ H_2(g) + O_2(g) \quad \Delta H_r = +477{,}2\ kJ$

$2\ C(graf) + 2\ O_2(g) \rightarrow 2\ CO_2(g) \quad \Delta H_r = -787\ kJ$

$4\ H_2(g) + 2\ O_2(g) \rightarrow 4\ H_2O(\ell) \quad \Delta H_r = -1.143{,}2\ kJ$

$2\ CH_4O(\ell) + 3\ O_2(g) \rightarrow 2\ CO_2(g) + 4\ H_2O(\ell) \quad \Delta H_c = -1.453\ kJ$

9. Alternativa **b**.

Massa de GLP usada em 1 ano: 13 kg GLP/mês = 156 kg GLP/ano

Custo de GLP em 1 ano:

1 kg de GLP ——— R$ 3,50

156 kg de GLP ——— x

x = R$ 546,00/ano de GLP

Energia consumida em 1 ano (considerando GLP = 50% butano, 50% propano):

0,058 kg de butano ——— 1 mol

78 kg de butano ——— x

$x = 1.344\ mol \cdot 690\ kcal = 927.931\ kcal/ano$

0,044 kg de propano ——— 1 mol

78 kg de propano ——— x

$x = 1.772\ mol \cdot 530 = 939.545\ kcal/ano$

Total = 1.867.476 kcal/ano de GLP

Massa de GN usada em 1 ano:

0,016 kg de metano ——— 208 kcal

x ——— 1.867.476 kcal

x = 143 kg/ano de metano

Volume de GN usado em 1 ano:

0,8 kg de metano ——— 1 m^3

143 kg de metano ——— x

$x = 179\ m^3$/ano

Custo de GN em 1 ano:

1 m^3 de GN ——— R$ 2,00

179 m^3 de GN ——— x

x = R$ 358,00/ano de GN

Economia anual = R$ 546,00/ano de GLP – R$ 358,00/ano de GN = R$ 188,00

10. Alternativa **b**. A partir da análise da tabela é possível concluir que tanto propano quanto isobutano estarão no estado gasoso a –6 °C. Comparando o calor liberado na combustão desses gases, concluímos que o consumo de isobutano será menor, uma vez que libera uma quantidade de energia maior.

Capítulo 6 Oxirredução

Os conceitos relacionados à oxirredução que são trabalhados ao longo do capítulo proporcionam ao estudante uma percepção de que a natureza dos materiais e a forma como eles são expostos ao ambiente impactam a vida em sociedade. Também neste capítulo, ao realizar a discussão a respeito da resistência ao processo de oxidação e da valorização que as sociedades atuais e antigas (como os Tayronas) imputam e imputaram sobre esse metal, é possível trabalhar aspectos sob a perspectiva da habilidade **EM13CNT303** com auxílio do

jogo proposto no boxe **Fique por dentro**. Quando discutidos os potenciais-padrão de redução e os dados experimentais considerando o eletrodo-padrão de hidrogênio, contribui-se para que o estudante desenvolva as habilidades **EM13CNT205** e **EM13CNT301** podendo definir metais adequados a diferentes situações propostas ao longo das atividades do capítulo.

Objetivos de aprendizagem

Espera-se que, ao término deste capítulo, o estudante seja capaz de:

- identificar em equações químicas espécies químicas que passam pelo processo de oxidação e aquelas que passam por redução.
- identificar e calcular o nox das espécies químicas envolvidas em uma reação química a partir da fórmula química.
- realizar o balanceamento de reações químicas usando os princípios da oxirredução.
- avaliar, por meio teórico, a adequação de conjuntos de materiais para participar de reações de oxirredução espontâneas.
- prever a espontaneidade de reações de oxirredução a partir do potencial-padrão de redução das espécies químicas.

Por dentro da BNCC de dos TCTs

- **Competências gerais:** 2 e 7
- **Habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias:** EM13CNT205, EM13CNT301, EM13CNT302 e EM13CNT307
- **Temas contemporâneos transversais:** Ciência e tecnologia, Educação alimentar e nutricional

Sugestões didáticas

Para o desenvolvimento do capítulo inicie questionando aos estudantes o que eles já sabem sobre a ferrugem, faça perguntas como: "Vocês já ouviram falar em ferrugem?", "Vocês sabem identificar se um objeto está enferrujado?", "Como um objeto fica (em termos de características visuais) antes e depois da ferrugem?". Sugerimos anotar as respostas no caderno para que elas sejam revisitadas ao final do capítulo. Em seguida, utilize a abertura para explicar que a ferrugem é um potencial problema na construção civil, uma vez que as vigas de sustentação estão suscetíveis às reações de oxirredução, cuja consequência é o dano às estruturas, como as das pontes apresentadas no início do capítulo. Aproveite a discussão e mencione a possibilidade de se empregar outros recursos naturais, como o bambu. Neste momento pode-se solicitar aos estudantes que façam pesquisas e tragam notícias sobre construções civis alternativas, possibilitando trabalhar as habilidades **EM13CNT302** e **EM13CNT307**.

Como forma de simular o processo que ocorre nas vigas da construção civil, explique o experimento descrito com a palha de aço. Ressalte que, para esse experimento, considerou-se que a palha é feita de ferro puro e que somente óxido de ferro(III) é produzido como produto da reação química.

Aproveite a equação química e a explicação do experimento para identificar as espécies químicas que oxidam e reduzem: Fe(s) oxida e o cloro, presente no NaCℓO, reduz. Explique os conceitos de oxidação e redução e sua relação com a transferência de elétrons. Utilize a tabela "Características de algumas espécies químicas do ferro" para trabalhar as diferentes formas do elemento químico Fe. Enfatize que o número de prótons e a massa não são alterados, retomando o modelo atômico visto anteriormente.

Explique que o ferro pode apresentar diferentes nox, ao passo que alguns elementos dos grupos 1, 2, 13 a 17, apresentam apenas um. Utilize uma tabela periódica para retomar os conceitos relacionados à organização da tabela periódica. Em seguida, aborde o balanceamento das equações químicas de oxirredução, retomando conceitos como a lei de conservação das massas e a manutenção das quantidades de cargas elétricas.

Inicie a discussão sobre o conceito de reatividade dos metais, explicando a resistência do ouro à oxidação. Cite como exemplo o povo indígena Quimbaya apresentado no Livro do Estudante. Aborde também a conservação das igrejas do Brasil colônia e como outros aspectos dessas igrejas demandam naturalmente mais manutenção, quando comparadas com o ouro. Mencione que, para definir uma ordem de reatividade, estabeleceu-se como padrão o eletrodo-padrão de hidrogênio (EPH). Utilize a tabela "Potenciais-padrão de redução (E°_{red})" para identificar e diferenciar os potenciais-padrão de algumas espécies químicas como o ferro e o ouro. Explique que, a partir desses valores, é possível prever a espontaneidade de uma reação de oxirredução calculando a diferença de potenciais. Aproveite essa oportunidade para explicar o efeito da maresia no processo de oxidação do ferro e seu impacto em construções civis, especialmente aquelas localizadas em regiões litorâneas.

Atividade complementar

Neste capítulo, aborda-se o processo de oxirredução. A abordagem inicial dada é a ferrugem, que demanda uma manutenção custosa de pontes, como a mostrada no início do capítulo. Porém, esse processo não ocorre somente em estruturas metálicas na construção civil, mas também cotidianamente nos nossos lares. Peça aos estudantes que investiguem a ocorrência da ferrugem em suas casas e registrem as seguintes informações: 1. Objeto observado; 2. Características decorrentes do processo de oxirredução; 3. O que pode ser feito para evitar que o objeto continue sofrendo processo de oxidação?; 4. Possível agente oxidante.

O objetivo dessa atividade é a observação qualitativa da ocorrência da oxidação do ferro por meio da observação direta, com desdobramento em ações de interrupção do processo de oxirredução com a remoção do objeto ao seu agente oxidante. Durante a discussão dos resultados obtidos pelos estudantes, explique que cessar o processo de oxidação do ferro significa cessar o contato do objeto com o agente oxidante. Neste momento, peça aos estudantes que citem um item em que deverão identificar, de forma qualitativa, o agente oxidante. Aproveite a oportunidade para enfatizar que oxidação e redução são reações que ocorrem de forma mútua em um processo de oxirredução. A seguir um exemplo de anotação:

1. Botijão de gás.
2. O azulejo em que o botijão de gás está apoiado está manchado de marrom avermelhado com o mesmo formato da base do botijão.
3. Não expor o botijão à água e ao Sol, mantendo-o em local seco e arejado. O botijão poderia ser colocado em um suporte que evita o acúmulo de água ou ainda poderia ser pendurado em um suporte na parede.
4. Água da mangueira, água da chuva.

É possível que o principal agente oxidante observado seja a água. Aproveite a oportunidade para explicar e diferenciar a água pura (H_2O) da água que abastece nossas casas, que contém íons como $C\ell^-$, Ca^{+2} e Mg^{+2}. Essa atividade possibilita o desenvolvimento das **competências gerais 2** e **7**, bem como as habilidades **EM13CNT205** e **EM13CNT301**.

Proposta de avaliação

A avaliação da aprendizagem pode ser realizada, em caráter formativo, por meio das diferentes atividades propostas ao longo do capítulo. A seção **Atividades de fechamento**, ao final do capítulo, visa avaliar a aprendizagem dos estudantes em relação aos principais conteúdos abordados, incluindo questões de vestibular, a fim de preparar os estudantes para exames de larga escala.

Resoluções e comentários

Aplique e registre

1. S_8 – nox do átomo de enxofre é zero por ser uma substância simples. SO_2 – nox do átomo de oxigênio é –2, portanto: $x + 2 \cdot (-2) = 0$. Logo, $x = +4$. Nox do átomo de enxofre no dióxido de enxofre é +4. H_2SO_4 – nox do átomo de oxigênio é –2, o nox do átomo de hidrogênio é +1, portanto: $2 \cdot (+1) + x + 4 \cdot (-2) = 0$. Logo, $x = +6$. Nox do átomo de enxofre no ácido sulfúrico é +6.

2. Alternativa **a**. Na transformação 1, o nox do enxofre varia de –2 para +4 (perda de seis elétrons). Na transformação 2, varia de +4 para +6 (perda de dois elétrons).

3. **a.** O elemento químico nitrogênio tem nox –3 nos reagentes e 0 nos produtos. O elemento químico H tem nox +1 nos reagentes e nos produtos. O elemento químico Cℓ tem nox +7 nos reagentes e –1 nos produtos. O elemento químico O tem nox –2 nos reagentes e 0 nos produtos.

b. Os átomos que passaram por variação de nox foram os átomos dos elementos nitrogênio (N), cloro (Cℓ) e oxigênio (O).

c. A produção de gás oxigênio como produto da reação auxilia na manutenção da tocha olímpica acesa mesmo debaixo da água, pois a combustão requer gás oxigênio, que faz o papel de comburente.

4. $2\ N_2H_4(\ell) + N_2O_4(\ell) \rightarrow 3\ N_2(g) + 4\ H_2O(v)$

5.

	Potenciais de redução ($E°_{red}$), oxidação ($E°_{oxi}$) e diferença de potencial (ddp)
Semirreação de oxidação: $Fe(s) \rightarrow Fe^{2+}(aq) + 2e^-$	$E°_{oxi} = +0{,}44$ V
Semirreação de redução: $2\ H^+(aq) + 2\ e^- \rightarrow H_2(g)$	$E°_{red} = 0$ V
Equação global: $Fe(s) + 2\ H^+(aq) \rightarrow Fe^{2+}(aq) + H_2(g)$	ddp = +0,44 V + (0 V) ddp = +0,44 V

A ddp positiva indica que a reação se processa de maneira espontânea.

6. O potencial-padrão de redução do ferro é –0,44 V. Em princípio, podem-se utilizar os metais com potencial de redução superior ao do ferro para evitar uma reação química entre a solução e o revestimento. Dos metais à disposição para o revestimento, apenas o zinco tem potencial de redução menor que o ferro ($E°_{red\ Zn} = -0{,}76$ V) e, por essa razão, seria o único metal que não poderia ser utilizado no revestimento.

7. O potencial de redução do gás ozônio é maior que o potencial de redução do íon hipoclorito. Portanto, a capacidade oxidativa do ozônio é maior que a do íon hipoclorito.

Em foco

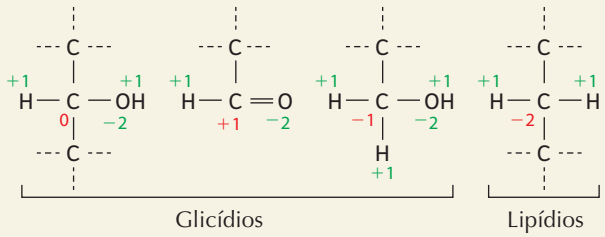
1. O radical livre passa por redução, pois dessa forma adquire o elétron que lhe faltava, estabilizando a espécie química.

2. Os antioxidantes são substâncias com alto potencial de oxidação, pois sua função é bloquear a ação dos radicais livres fornecendo elétrons para que eles passem por redução.

3. A exposição da pele sem proteção gera radicais livres, que por sua vez podem danificar as células. Determinadas modificações danificam a capacidade das células de se replicar corretamente, o que pode favorecer o desenvolvimento de câncer de pele.

Atividades de fechamento

1. O maior valor energético dos lipídios pode ser associado ao menor valor de Nox da série de estruturas apresentadas:



Como citado no enunciado da questão, quanto mais reduzida a substância, mais energia é liberada no rompimento de suas ligações químicas. Como pode ser observado na análise das estruturas, o átomo de carbono central do lipídio é mais reduzido que o átomo de carbono central dos glicídios, indicando, portanto, o alto valor energético dos lipídios quando comparado ao dos glicídios.

2. **a.** O aumento do Nox está relacionado à oxidação, e sua diminuição, à redução. Como o agente redutor é a espécie que foi oxidada e o agente oxidante é a espécie que foi reduzida, nessa reação o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) atua tanto como agente oxidante quanto como agente redutor. Já o íon permanganato (MnO_4^-) atua exclusivamente como agente oxidante.

$$\overset{+1}{H_2}\overset{-1}{O_2}(aq) + \overset{+7}{Mn}\overset{-2}{O_4}^-(aq) + H^+(aq) \rightarrow Mn^{2+}(aq) + \overset{+1}{H_2}\overset{-2}{O}(\ell) + O_2(g)$$

b. $5\ H_2O_2(aq) + 2\ MnO_4^-(aq) + 6\ H^+(aq) \rightarrow 2\ Mn^{2+}(aq) + 8\ H_2O(\ell) + 5\ O_2(g)$

3. Os elementos químicos que participam da reação de oxirredução são o manganês (Mn) e o ferro (Fe). O balanceamento está correto. Com o coeficiente estequiométrico 5 para o cloreto de ferro(II), tem-se que, para cada cinco íons Fe^{2+} oxidados, são transferidos 5 e^-. Com o coeficiente estequiométrico 1 para o permanganato de potássio, tem-se que, para cada íon reduzido, são recebidos 5 e^-.

4. **a.** O fato de o eletrodo X ceder elétrons para o EPH quando estão conectados indica que ele é oxidado e que o eletrodo-padrão de hidrogênio é reduzido. Logo, o potencial-padrão de redução desse eletrodo é menor que o do EPH ($E° = 0{,}00$), ou seja, é um valor negativo (–0,22 V). Quando os eletrodos X e Y são conectados por um condutor, o eletrodo X é oxidado e o eletrodo Y é reduzido. Isso indica que o potencial-padrão de redução de Y é maior que o de X; logo, o valor deve ser positivo (+0,62 V).

b. Como o eletrodo Y é reduzido e o eletrodo X é oxidado, temos:

$\Delta E° = E°$(processo de redução) – $E°$(processo de oxidação)

$\Delta E° = +0{,}62\ V - (-0{,}22\ V) \therefore \Delta E° = +0{,}84\ V$

5. Alternativa **c**. Como, em todos os pares propostos, o cobre é o metal cuja forma oxidada tem o maior potencial-padrão de redução, deve-se procurar o metal cuja forma oxidada apresenta o menor potencial-padrão de redução. Com esse par, será gerada a maior diferença de potencial e, em teoria, o maior estímulo elétrico. Consultando a tabela de potenciais-padrão podemos concluir que é o alumínio.

6. Alternativa **a**. Espera-se que os estudantes percebam que o produto da primeira reação é o reagente da segunda; portanto, deve-se levar em conta no cálculo da variação do Nox o reagente do primeiro processo e o produto do segundo. Assim, $|\Delta Nox(S)| = 8$.

$$\overset{+6\ -2}{S}O_4^{2-}(aq) \xrightarrow{\text{ação bacteriana}} \overset{-2}{S}^{2-}(aq) \xrightarrow{\text{meio ácido}} \overset{+1\ -2}{H_2S}(g)$$

7. **a.** A decomposição da MO consome o OD na água. Logo, quanto maior a concentração de MO, menor o valor de OD. Com a diminuição de OD na água, os organismos aeróbicos, que dependem desse gás para o seu metabolismo, são ameaçados.

   b. As espécies mais oxidadas estão presentes em condições aeróbicas:

Espécies em condições aeróbicas	Nox	Espécies em condições anaeróbicas	Nox
CO_2; H_2CO_3; HCO_3^-	Nox(C) = +4	CH_4	Nox(C) = –4
SO_4^{2-}	Nox(S) = +6	H_2S	Nox(S) = –2
NO_3^-	Nox(N) = +5	NH_3; NH_4^+	Nox(N) = –3
$Fe(OH)_3$	Nox(Fe) = +3	Fe^{2+}	Nox(Fe) = +2

   As condições aeróbicas estão presentes na parte próxima à superfície do lago, onde ocorre contato entre a água e a atmosfera, promovendo a dissolução do gás oxigênio. Esse processo é ainda mais facilitado se houver turbulência na água. A maior concentração de gás oxigênio presente nessa zona, em relação à zona mais profunda, cria um ambiente oxidante, ou seja, promove a oxidação das espécies químicas presentes.

8. Se o novo padrão fosse o zinco e, por convenção, seu valor fosse igual a zero, o potencial do hidrogênio seria +0,76 V, o do cobre seria +1,1 V e o do alumínio seria –0,9 V.

Capítulo 7 Pilhas e baterias comerciais

Este capítulo trata do funcionamento e das questões ambientais envolvendo pilhas e baterias comerciais. Inicie perguntando aos estudantes se eles sabem de que materiais são feitas as baterias de celulares ou outros dispositivos portáteis. Explore com eles a imagem da abertura do capítulo. Atualmente, muitos dispositivos eletrônicos são confeccionados de modo a impedir o acesso fácil à bateria, portanto é possível que os estudantes não a reconheçam na imagem. Incentive os estudantes a apresentarem suas dúvidas sobre o tema e avalie se elas podem ser sanadas ou se devem ser retomadas ao longo do capítulo.

Objetivos de aprendizagem

Espera-se que, ao término deste capítulo, o estudante seja capaz de:

- explicar o princípio de funcionamento de pilhas e baterias comerciais, bem como a importância para o ambiente do descarte adequado e do uso de dispositivos que sejam recarregáveis.
- utilizar o valor de potenciais-padrão de redução para prever a espontaneidade de reações de oxirredução.
- descrever os processos químicos básicos envolvidos em uma célula eletroquímica.
- representar uma célula eletroquímica por esquemas e equações químicas.
- relacionar a composição de diferentes tipos de pilhas e baterias comerciais aos seus usos e impactos sociais e ambientais.
- relacionar alguns aspectos do desenvolvimento histórico da eletroquímica ao contexto social, científico e tecnológico.
- explicar a diferença de potencial (ddp) e potencial-padrão.
- calcular a ddp de uma pilha com base nos valores de potencial-padrão.

Por dentro da BNCC

- **Competências gerais:** 1, 4, 7 e 10
- **Habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias:** EM13CNT101, EM13CNT104, EM13CNT106, EM13CNT107, EM13CNT205, EM13CNT301, EM13CNT303, EM13CNT306, EM13CNT307 e EM13CNT309
- **Tema contemporâneo transversal:** Ciência e tecnologia

Sugestões didáticas

Para trabalhar com este capítulo e garantir o protagonismo dos estudantes diretamente pelo seu aprendizado, sugere-se o uso de elementos da sala de aula invertida como estratégias didático-metodológicas. Os estudos extraclasse podem ser divididos em 3 etapas: 1ª Desenvolvimento e funcionamento de pilhas e baterias; 2ª Pilhas e baterias comerciais; 3ª Preparação para atividade prática.

Inicie a 1ª etapa explicando aos estudantes que o estudo do conteúdo teórico do capítulo deverá ser realizado em período extraclasse e que a sala de aula será utilizada como espaço para discussão, esclarecimento de dúvidas e de dificuldades, assim como espaço colaborativo de aprendizagem para realização de atividades. Proponha a seguinte problematização para nortear os estudos e pesquisas dos estudantes: "Por que não devemos descartar pilhas e baterias no lixo comum? O que faz desses dispositivos tão essenciais para o estilo de vida contemporâneo ao mesmo tempo que apresentam riscos à saúde e ao ambiente quando usados e descartados incorretamente?". O objetivo é que eles compreendam o princípio de funcionamento desses dispositivos e a importância ambiental do descarte adequado e do uso de dispositivos que sejam recarregáveis, desenvolvendo assim as **competências gerais 1 e 10**.

Após o primeiro estudo extraclasse, organize os estudantes em pequenos grupos para que discutam, aprimorando seus aprendizados, esclarecendo dúvidas e superando dificuldades.

Após essa primeira rodada de discussões, peça aos grupos que façam os exercícios da seção **Aplique e registre** do Livro do Estudante e que lhe entreguem, em folha separada, as resoluções. Esses exercícios podem direcionar o planejamento da próxima etapa, que trabalha justamente as principais dificuldades e concepções alternativas dos estudantes.

Na 2ª etapa, indique a leitura sobre pilhas e baterias comerciais existentes no mercado nacional, bem como o tópico de durabilidade e descarte desses dispositivos. Em sala, permita que eles apresentem as dúvidas que surgiram durante a leitura, orientando-os a fim de saná-las.

Nesse momento, pode-se trabalhar a seção **Em foco**, a fim de apresentar alguns aspectos relacionados à pesquisa em novas baterias comerciais. O trabalho envolvido nessa seção está no contexto dos **Temas Contemporâneos Transversais**, especialmente Ciência e tecnologia, bem como contribui para alcançar o **ODS 7**, uma vez que incentiva a reflexão sobre os impactos ambientais inerentes ao uso e produção de energia elétrica. Além disso, ao trabalhar com texto de divulgação científica, possibilitamos o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT303** e **EM13CNT309**. Finalize a etapa, com as atividades do **Aplique e registre**.

Essa discussão promove o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT309**. Finalize a etapa com as atividades do boxe **Aplique e registre**.

Na 3ª etapa, realize a seção **Na prática**. Para isso, peça aos estudantes que leiam a seção e realizem previamente o tópico **Prepare-se!**. Essa atividade possibilita o trabalho interdisciplinar com o componente curricular de Física, uma vez que aborda as formas de associação de geradores elétricos e as propriedades relacionadas a esses tipos de arranjo. Além disso, ao possibilitar aos estudantes a elaboração de hipóteses e a realização de medições para inferir sobre fenômenos naturais, contribuímos para o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT205** e **EM13CNT301**.

Proposta de avaliação

A avaliação da aprendizagem pode ser realizada, em caráter formativo, por meio das diferentes atividades propostas ao longo do capítulo. A seção **Atividades de fechamento**, ao final do capítulo, visa avaliar a aprendizagem dos estudantes em relação aos principais conteúdos abordados, incluindo questões de vestibular, a fim de preparar os estudantes para exames de larga escala.

Resoluções e comentários

Aplique e registre

1. **a.** Eletrodo de cobre

b. Eletrodo de prata

c. $Cu(s) \rightarrow Cu^{2+}(aq) + 2\ e^-$

d. $2\ Ag^+(aq) + 2\ e^- \rightarrow 2\ Ag(s)$

e. $2\ Ag^+(aq) + Cu(s) \rightarrow 2\ Ag(s) + Cu^{2+}(aq)$

f. Eletrodo de cobre → eletrodo de prata

2. **a.** $E^\circ_{oxi} = +0{,}13\ V$

O magnésio metálico é consumido, portanto é oxidado. O metal *X* passa por deposição, sendo reduzido:

$Mg(s) \rightarrow Mg^{2+}(aq) + 2\ e^-$; $E^\circ_{oxi} = +2{,}37\ V$

$X^{2+}(aq) + 2\ e^- \rightarrow X(s)$; $E^\circ_{red} = x$

$ddp = E^\circ_{red} + E^\circ_{oxi}$

$+ 2{,}24\ V = x + 2{,}37\ V$

$x = -0{,}13\ V$

Como o potencial de redução é $E^\circ_{red} = -0{,}13\ V$, o potencial de oxidação vale $E^\circ_{oxi} = +0{,}13\ V$.

b. Consultando a tabela de potenciais-padrão de redução no capítulo 6 do Livro do Estudante, o elemento *X* é o chumbo (Pb).

3. $2\ MnO_2(s) + 2\ H_2O(\ell) + 2\ e^- \rightarrow 2\ MnO(OH)(s) + 2\ OH^-(aq)$

$Zn(s) + 2\ OH^-(aq) \rightarrow Zn(OH)_2(s) + 2\ e^-$

$Zn(s) + 2\ MnO_2(s) + 2\ H_2O(\ell) \rightarrow Zn(OH)_2(s) + 2\ MnO(OH)(s)$

$ddp = E^\circ_{oxi} + E^\circ_{red}$

$1{,}5\ V = +0{,}76\ V + E^\circ_{red}$

$E^\circ_{red} = 1{,}5 - 0{,}76$

$E^\circ_{red} = +0{,}74\ V$

4. Dos materiais indicados, apenas a grafita é condutora de corrente elétrica.

5. **I.** Falsa, pois o Nox do alumínio passa de zero no $A\ell$ para +3 no $A\ell_2C\ell_7^-$.

II. Falsa. Na pilha, o ânodo é o polo negativo.

III. Verdadeira. Somando-se as semirreações de oxidação e redução, temos:

$A\ell + 7\ A\ell C\ell_4^- \rightarrow 4\ A\ell_2C\ell_7^- + 3\ e^-$

$3\ C_n[A\ell C\ell_4] + 3\ e^- \rightarrow 3\ C_n + 3\ A\ell C\ell_4^-$

$A\ell + 4\ A\ell C\ell_4^- + 3\ C_n[A\ell C\ell_4] \rightarrow 3\ C_n + 4\ A\ell_2C\ell_7^-$

IV. Verdadeira. O grafite (C_n) passa de Nox +1 para zero, passando, portanto, por uma redução, o que ocorre no cátodo da pilha.

6. Alternativa **e**. O valor do potencial de redução de qualquer especie não passa por alteração com a mudança da estequiometria da reação.

Na prática

1. A associação em série fornece maior diferença de potencial. Os valores podem variar em função de vários aspectos, como temperatura, grau de acidez do limão, entre outros. Porém, a associação em série em geral gera maior valor de ddp que a associação em paralelo. Já a associação em paralelo fornece maior corrente elétrica. Aqui pode-se explorar a relação que existe entre a montagem em série, em paralelo, ddp e corrente elétrica trabalhando em conjunto com o componente curricular Física.
2. Associação em série, pois dessa forma a soma das ddp de cada pilha equivale à ddp total. Admitindo um valor de ddp igual a 1 V para cada pilha de limão, para produzir uma ddp de 12 V, seriam necessários 12 limões, 12 moedas e 12 pregos.
3. Como o potencial de redução do zinco é o menor, o eletrodo de zinco é o ânodo e o eletrodo de cobre é o cátodo. Entretanto, como o limão não tem em sua constituição os íons Cu^{2+}, não há formação do par eletroquímico Cu^{2+}/Cu e o eletrodo de cobre funciona como um cátodo inerte. Os íons H^+ provenientes do ácido cítrico (componente do limão) reduzem, como mostra a semirreação de redução a seguir.

   Semirreação de oxidação: $Zn(s) \rightleftarrows Zn^{2+}(aq) + 2\ e^-$

   Semirreação de redução: $2\ H^+(aq) + 2\ e^- \rightleftarrows H_2(g)$

   Equação global: $Zn(s) + 2\ H^+(aq) \rightleftarrows Zn^{2+}(aq) + H_2(g)$
4. ddp = 0 V + 0,76 V = +0,76 V

   Espera-se que haja diferença entre esse valor e o medido, pois a concentração de íons H^+ no limão não é necessariamente igual a 1 mol/L, concentração estabelecida para a condição padrão.
5. O limão fornece os íons $H^+(aq)$ provenientes principalmente do ácido cítrico presente nessa fruta. Além disso, também faz o papel de eletrólito para que haja fluxo de íons.

Em foco

1. Com base no conhecimento do raio atômico dos elementos lítio, sódio e potássio, é possível fazer uma inferência em relação à capacidade de compactar energia nas baterias. O raio atômico é uma propriedade periódica que aumenta de cima para baixo ao longo dos grupos da tabela periódica. Dessa forma, o potássio, que está abaixo do sódio no grupo dos metais alcalinos, provavelmente possui um raio atômico maior que o do sódio. Isso sugere que o íon potássio pode ser ainda menos eficiente em penetrar a estrutura dos eletrodos em comparação com o íon sódio, uma vez que o tamanho maior do íon potássio pode apresentar mais dificuldade nesse processo. O trabalho com essa atividade proporciona o desenvolvimento da **competência geral 7**.
2. De acordo com o texto, as baterias de sódio não chegam a 4 mil ciclos, enquanto as baterias de lítio realizam 12 mil ciclos durante sua vida útil. Considerando que a vida útil de uma bateria é determinada pelo número de ciclos que ela pode realizar antes de perder significativamente sua capacidade, podemos inferir que a vida útil de uma bateria de íon de sódio seria proporcionalmente menor que a de uma bateria de íon de lítio.

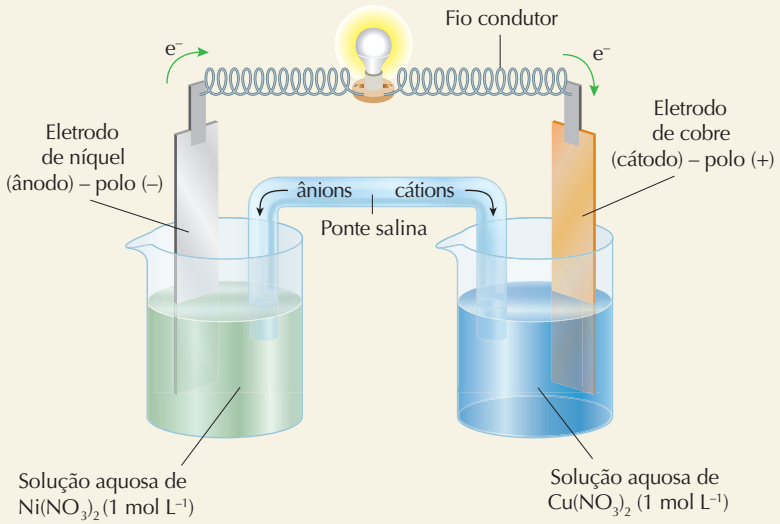
   Realizando os cálculos, se uma bateria de 12 mil ciclos tem vida útil de 3 anos, uma bateria de 4 mil ciclos teria 1 ano de vida útil, estimadamente.

   O trabalho com essa atividade proporciona o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT107**.
3. Espera-se que os estudantes respondam que o uso de sódio para substituir o lítio em algumas aplicações que demandem baterias, como carros elétricos, está relacionado com o **ODS 7**. O sódio é um elemento mais abundante e amplamente distribuído no planeta Terra que o lítio, o que tornaria a produção dessas baterias de sódio mais acessível.
4. Alternativa **a**. O elemento sódio está presente no mundo de forma muito mais homogênea que o lítio, o que permitirá aos países que não detêm reservas de lítio a redução da dependência econômica em relação a outros países.

Atividades de fechamento

1. Os consumidores podem auxiliar não descartando pilhas e baterias no lixo comum e exigindo o cumprimento da Resolução nº 401/2008 por parte dos fabricantes. Quanto aos vendedores, estes podem, em parceria com as indústrias, estabelecer pontos de coleta e dar o destino adequado ao material recolhido, além de orientar corretamente os consumidores. Atualmente, inúmeros estabelecimentos, como bancos, farmácias, mercados e escolas, são equipados com pontos de coleta. Caso na escola não haja um ponto de coleta, essa é uma boa oportunidade para discutir com os estudantes uma forma de elaborar uma possível intervenção para suprir essa carência na comunidade escolar e no seu entorno. O trabalho com essa atividade proporciona o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT104** e **EM13CNT306**.

2. Um exemplo de esquema para essa pilha e das reações e potenciais-padrão de redução envolvidos no processo de geração de energia elétrica é mostrado a seguir (a presença da lâmpada não influencia o funcionamento do sistema, porém ela é ilustrada para indicar a ocorrência do fluxo de elétrons).



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

(Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Como o potencial-padrão de redução dos íons $Cu^{2+}(aq)$ é maior que o dos íons $Ni^{2+}(aq)$, ocorre a redução na semicélula de cobre e a oxidação na semicélula de níquel:

Ânodo (–): $Ni(s) \rightarrow Ni^{2+}(aq) + 2\ e^-$ $\quad E^\circ_{red} = -0,28\ V$

Cátodo (+): $Cu^{2+}(aq) + 2\ e^- \rightarrow Cu(s)$ $\quad E^\circ_{red} = +0,34\ V$

$E^\circ_{pilha} = E^\circ_{red}(\text{cátodo}) - E^\circ_{red}(\text{ânodo})$

$E^\circ_{pilha} = E^\circ(Cu^{2+}/Cu) - E^\circ(Ni^{2+}/Ni)$

$E^\circ_{pilha} = +0,34\ V - (-0,28\ V) = +0,62\ V$

$$Ni(s) \mid Ni^{2+}(aq) \parallel Cu^{2+}(aq) \mid Cu(s)$$

Explique aos estudantes que esse tipo de dispositivo, atualmente, é mais empregado no âmbito científico, e que outros dispositivos mais eficientes e práticos já estão disponíveis no mercado. O trabalho com essa atividade proporciona o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT101**, bem como a **competência geral 4**.

3. Alternativa **e**.

Cátodo – onde ocorre a redução: eletrodo poroso

$O_2 + 2\ e^- \rightarrow 2\ OH^-$

Ânodo – onde ocorre a oxidação: eletrodo de Zn

$Zn + 4\ OH^- \rightarrow Zn(OH)_4^{2-} + 2\ e^-$

4. **a.** Pela análise dos potenciais-padrão de redução, vemos que os íons $Ag^+(aq)$ são reduzidos a prata metálica no cátodo, enquanto o ferro metálico é oxidado a íons $Fe^{2+}(aq)$ no ânodo.

b. $E^\circ_{pilha} = E^\circ_{red}(\text{cátodo}) - E^\circ_{red}(\text{ânodo})$

$E^\circ_{pilha} = +0,80\ V - (-0,44\ V) = +1,24\ V$

c. $Fe(s) \mid Fe^{2+}(aq) \parallel Ag^+(aq) \mid Ag(s)$

5. **a.** O eletrólito é a solução de hidróxido de potássio (KOH).

b. O elemento químico que se comporta como agente redutor é o zinco, porque é oxidado (ânodo).

c. O elemento químico que se comporta como agente oxidante é o mercúrio, presente no óxido de mercúrio(II), porque é reduzido (cátodo).

d. $HgO(s) + Zn(s) \rightarrow Hg(\ell) + ZnO(s)$

O trabalho com essa atividade proporciona o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT307**.

6. Alternativa **c**. A diferença de potencial da associação de duas pilhas em série deve ser igual ou maior que 3,6 V para acender um LED azul. Para calcular o potencial de pilha a partir das semirreações fornecidas utilizamos a equação:

$\Delta E^\circ = \Delta E^\circ_{maior} - \Delta E^\circ_{menor}$

Pilha 1: $Zn\ (s) \mid Zn^{2+}(aq) \parallel C_{grafite} \mid Ce^{4+}(aq) \mid Ce^{3+}(aq)$

$\Delta E^\circ_1 = +\ 1,61V - (-0,76V) = +\ 2,37V$

Pilha 2: $Ni(s) \mid Ni^{2+}(aq) \parallel C_{grafite} \mid Cr_2O_7^{2-}(aq) \mid Cr^{3+}(aq)$

$\Delta E^\circ_2 = +\ 1,33V - (-0,25V) = +\ 1,58V$

A associação em série dessas pilhas fornece uma ddp correspondente à soma dos potenciais isolados:

$\Delta E^{\circ}_{total} = +2{,}37V + 1{,}58V = +3{,}95V$

O trabalho com essa atividade proporciona o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT106**.

7. **a.** Pelas semirreações, temos que o valor do potencial de redução do cádmio é menor que o do níquel. Dessa forma, podemos dizer que, durante a descarga da pilha, o cádmio é oxidado e o níquel é reduzido.

b. Para fazer funcionar um dispositivo que necessite de uma diferença de potencial de 1,52 V, a pilha deve fornecer no mínimo o mesmo valor de tensão.

$E_T = E_C - E_A$

$E_T = 0{,}52\,V - (-0{,}81\,V) = +1{,}33\,V$

Como o valor de ddp que essa pilha fornece é menor do que o necessário para fazer o dispositivo funcionar, ela não poderá ser usada.

O trabalho com essa atividade proporciona o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT106** e **EM13CNT107**.

8. Os elétrons tendem a seguir o caminho de menor resistência elétrica. O fio de cobre oferece um caminho de baixa resistência comparado ao meio aquoso. No meio aquoso, os íons Zn^{2+} são rodeados por moléculas de água, criando uma barreira de energia para a atração direta de elétrons livres. Além disso, os elétrons teriam que atravessar a solução eletrolítica, que é muito menos condutora que o fio metálico.

Capítulo 8 Materiais renováveis e biodegradáveis

O foco deste capítulo é relacionar e desenvolver conceitos de Química Orgânica, sobretudo dos álcoois, ésteres e polímeros, com os princípios do modelo econômico circular e da Química Verde. Vale destacar que as propriedades reatividade, estrutura e nomenclatura dos compostos orgânicos são apresentadas à medida que as funções orgânicas aparecem durante os vários volumes desta obra.

Objetivos de aprendizagem

Espera-se que, ao término deste capítulo, o estudante seja capaz de:

- estabelecer relações entre os conceitos de economia circular, desenvolvimento sustentável, Química Verde e Química Orgânica.
- conhecer um aspecto da influência da cultura indígena na cultura dos colonizadores portugueses e, consequentemente, na construção da identidade brasileira.
- obter subsídios do ponto de vista da Química para se posicionar diante de propostas relacionadas ao consumo responsável.
- reconhecer a biomassa como fonte de energia e matéria-prima em um contexto econômico mais sustentável, analisando fórmulas estruturais e reações químicas.
- analisar vantagens e desvantagens dos métodos de obtenção e formas de uso de biocombustíveis e polímeros, em razão de sua estrutura molecular, propriedades físico-químicas e impactos ao ambiente.
- examinar propriedades dos materiais e realizar previsões, interpretando modelos explicativos, representações submicroscópicas e dados experimentais para avaliar e justificar escolhas no uso de fontes de matéria-prima e de energia.
- avaliar, de acordo com os pontos de vista socioambiental, político e econômico, a dependência da sociedade em relação aos recursos não renováveis e a necessidade de introdução de alternativas mais sustentáveis.
- explorar as redes sociais como espaços de comunicação de causas socioambientais.
- refletir sobre aspectos relativos à credibilidade e autoridade discursiva de influenciadores digitais.
- produzir mensagem informativa e engajadora acerca da sustentabilidade ambiental.

Por dentro da BNCC

- **Competências gerais:** 1, 4, 5, 6 e 7
- **Habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias:** EM13CNT104, EM13CNT105, EM13CNT205, EM13CNT301, EM13CNT307, EM13CNT309 e EM13CNT310
- **Temas contemporâneos transversais:** Educação ambiental e Trabalho

Sugestões didáticas

A sequência didática sugerida para este capítulo baseia-se na estrutura proposta e adaptada de MORTIMER, E. F.; SCOTT, P. Atividade discursiva nas salas de aula de Ciências: uma ferramenta sociocultural para analisar e planejar o ensino. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 7, n. 3, p. 283-306, 2002. Disponível em: https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/562/355. Acesso em: 19 out. 2024.

Inicie questionando os estudantes: "Quais foram os impactos econômicos, sociais e ambientais decorrentes da utilização do plástico como um novo material em substituição ao vidro e aos metais?". Você pode ampliar as discussões e fazer a mesma pergunta pensando também na utilização de combustíveis fósseis: "Quais foram os impactos econômicos, sociais e ambientais da utilização de combustíveis fósseis?". Em um primeiro momento, debata com os estudantes deixando-os falar livremente, acolhendo todas as ideias da turma e registrando-as na lousa. Continue ampliando as discussões por meio de perguntas como: "Existem alternativas sustentáveis ao uso de polímeros (comente que plásticos são um tipo de polímeros) e combustíveis fósseis?"; "O que nós sabemos sobre isso?"; "O que nós precisamos estudar sobre esse assunto?"; "O que nos faz querer explorar mais o assunto?".

Nesta etapa, divida o capítulo em seis assuntos para estudo. São eles: modelo econômico circular; Química Verde; biocombustível: etanol; biocombustível: biodiesel; polímeros verdes; e biodegradação e reciclagem. Peça aos estudantes que pesquisem, no período extraclasse, esses conteúdos em diferentes fontes para criar um ambiente com diversas classes de discursos. As fontes sugeridas são: 1. Livro do Estudante; 2. fontes confiáveis de pesquisa científica: as plataformas da *Scielo*, do portal da *Capes*, o buscador das revistas **Química Nova**, **Química Nova na Escola** e **Revista Pesquisa Fapesp,** entre outras; 3. canções, literatura e artes em geral. São exemplos o poema "O rio", de João Cabral de Melo Neto, que retrata o efeito da expansão dos canaviais sobre a mata nativa, e a canção "Movido a água", de Itamar Assumpção. Esses tipos de ação são importantes para o desenvolvimento das **competências gerais 4, 5 e 7**, visto que ajudam a desenvolver a capacidade crítica dos estudantes de buscar informações confiáveis utilizando tecnologias digitais da informação e comunicação e de se expressar usando diferentes formas de linguagem.

Em sala, peça a cada grupo que apresente em cerca de 10 minutos os principais pontos pesquisados. Para avaliar a

necessidades dos estudantes acerca do conteúdo abordado, indique as atividades do **Aplique e registre**.

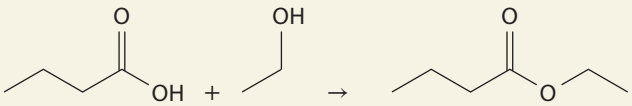
Proposta de avaliação

A avaliação da aprendizagem pode ser realizada, em caráter formativo, por meio das diferentes atividades propostas ao longo do capítulo. A seção **Atividades de fechamento**, ao final do capítulo, visa avaliar a aprendizagem dos estudantes em relação aos principais conteúdos abordados, incluindo questões de vestibular, a fim de preparar os estudantes para exames de larga escala.

Resoluções e comentários

Aplique e registre

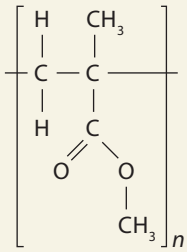
1. Alternativa **b**. O aumento da temperatura média da Terra pode provocar o descongelamento das geleiras e o consequente aumento do nível dos mares. A combustão do etanol e da gasolina necessitam de gás oxigênio e os produtos são essencialmente os mesmos: dióxido de carbono e água. No entanto, o etanol pode ser menos poluente que a gasolina, pois é uma fonte de energia renovável de energia.
2. Segundo o texto, é mais vantajoso economicamente abastecer com etanol se o seu preço for até 70% do preço da gasolina: caso contrário, é mais vantajoso abastecer com gasolina. Analisando as informações da tabela, apenas nos anos de 2012, 2016, 2017 e 2021 foi menos vantajoso economicamente abastecer com etanol. O trabalho com essa atividade proporciona o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT104** e **EM13CNT309**.
3. Alternativa **b**. O plástico verde é produzido a partir da desidratação intramolecular do etanol, em que o produto obtido é o eteno, $H_2C{=}CH_2$, cuja fórmula molecular é C_2H_4.
4. A reação do ácido butanoico com ácido acético pode ser representada como a seguir:



ácido butanoico + etanol → butanoato de etila

O produto obtido é um éster.

5. A indústria que produziu a garrafa deve ter utilizado o polieteno de baixa densidade (PE-BD). Nesse caso, as cadeias do polímero estão mais afastadas (o que causa uma menor densidade) e com interações intermoleculares menos intensas que se refletem na menor temperatura de fusão do polímero. O trabalho com essa atividade proporciona o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT205** e **EM13CNT301**.
6. Em função dos dados fornecidos no texto, pode-se concluir que a fórmula estrutural é:



7. Alternativa **b**. O PHB poli(β-hidroxibutirato) é produzido a partir do bagaço da cana-de-açúcar. Por ser uma fonte renovável, ele apresenta vantagem para o meio ambiente quando comparado ao polietileno proveniente do petróleo, que é uma fonte não renovável. O trabalho com essa atividade proporciona o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT309**.

Trabalho e juventudes

1. Conforme mencionado no texto, essa crise global gerou impactos e transformações em todos os aspectos da vida humana, como nas questões de saúde pública, sociais, econômicas e políticas. Podem-se complementar as informações do texto citando alguns exemplos que podem ter sido vivenciados pelos estudantes, como perda de empregos, sobrecarga dos sistemas de saúde, distanciamento social e isolamento, desigualdades no acesso à educação virtual, mudanças nos hábitos de consumo e impacto na cultura e nas interações sociais.
2. Resposta pessoal. O equilíbrio pode envolver o desenvolvimento de alternativas sustentáveis aos plásticos de uso único, desenvolvimento de redes eficientes de coleta seletiva, ampliação dos centros de reciclagem de diferentes materiais, política de logística reversa e a conscientização pública sobre o descarte responsável. É importante buscar soluções que atendam às necessidades do período em questão, e os desafios a serem superados, sem que haja o comprometimento e/ou agressão ao meio ambiente, a curto, médio e longo prazo. Essa reflexão contempla os **ODS 11** e **12.** O trabalho com essa atividade proporciona o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT310**.
3. Resposta pessoal. Podem ser citadas, por exemplo, carreiras em tecnologia verde (visam ao desenvolvimento e à aplicação de inovações tecnológicas para promover a sustentabilidade ambiental), *design* sustentável, consultoria ambiental, ciência de dados ambientais e educação ambiental. Refletir sobre as carreiras e o mundo do trabalho nesse contexto contempla a **competência geral 6** e o **ODS 9**.
4. Resposta pessoal. A juventude pode influenciar positivamente essa discussão e a busca por soluções por meio da participação ativa em trabalhos voluntários com pautas ambientais, proposição e participação em discussões relacionadas à sustentabilidade ambiental, produção de conteúdo (e compartilhamento em redes sociais, por exemplo) para promover a conscientização. Além disso, os jovens podem pressionar os governantes a apresentarem leis e estabelecerem diretrizes ambientais visando a práticas mais sustentáveis e responsáveis. Essa reflexão contempla os **ODS 11** e **12**. O trabalho com essa atividade proporciona o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT105**.

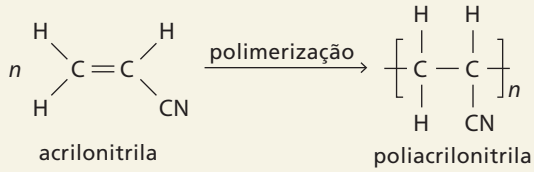
Atividades de fechamento

1. Alternativa **b**. A fórmula estrutural é do etenilbenzeno, também conhecido como estireno. A partir da polimerização é produzido o poliestireno (PS). O estireno tem fórmula molecular C_8H_8.
2. **a.** Uma forma de representação possível é indicada a seguir.

   Propan-1-ol: $H_3C{-}(CH_2)_2{-}OH$
   Pentan-1-ol: $H_3C{-}(CH_2)_4{-}OH$
   Heptan-1-ol: $H_3C{-}(CH_2)_6{-}OH$

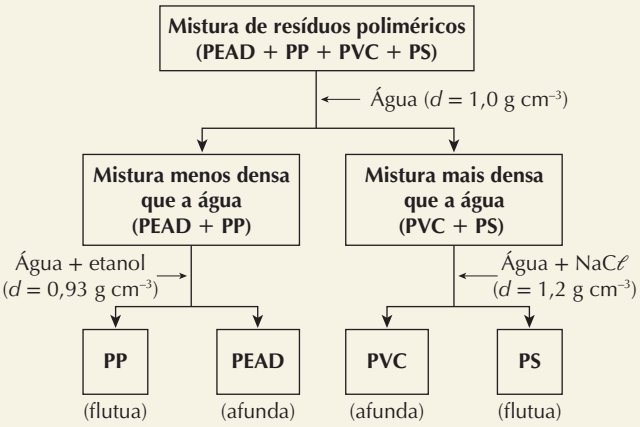
b. Álcoois são compostos nos quais o grupo hidroxila (hidrofílico) possibilita a interação de suas moléculas com as de água por meio de ligações de hidrogênio. No entanto, o aumento da cadeia carbônica (hidrofóbico) diminui a solubilidade em água, uma vez que as interações do tipo forças dispersivas de London entre as regiões apolares se tornam mais pronunciadas em relação às ligações de hidrogênio, diminuindo a solubilidade das substâncias em água.

3. A reação de polimerização de obtenção da poliacrilonitrila é:



acrilonitrila — poliacrilonitrila

4. A seguir, veja um exemplo de fluxograma que pode ser apresentado como resposta.



Esse tipo de atividade favorece o desenvolvimento do pensamento computacional, mais especificamente a ideia de algoritmo como uma sequência finita de procedimentos que permite resolver determinado problema. O trabalho com essa atividade proporciona o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT307**.

5. Alternativa **b**. A análise gráfica indica, em três tipos de plástico (PP, PE e EPS), que a velocidade de degradação aumenta com o tempo de exposição, uma vez que suas curvas são ascendentes. Porém, no plástico NPG, a velocidade de degradação é constante, pois a curva é uma reta. Após o tempo indicado na questão (50 dias), o EPS sofreu maior degradação (≃ 40 mg DOC/gC).

6. Os produtos da desidratação intermolecular do álcool butan-1-ol pertencem à classe de compostos denominada éter, cuja solubilidade em água é bem menor que dos álcoois. No entanto, a solubilidade em solventes apolares tende a ser maior.

7. Como o etanol é uma fonte renovável de energia, poderá haver um equilíbrio entre o CO_2 produzido por sua queima e o captado pela planta do qual é extraído. Entre as desvantagens dos biocombustíveis, podem-se citar: redução da biodiversidade; redução na produção de outros alimentos; aumento do consumo de fertilizantes nitrogenados; grande quantidade de energia usada em sua produção; aumento do consumo de água para irrigação das culturas; contaminação de lençóis freáticos por nitritos e nitratos oriundos de fertilizantes.

Reflita sobre seu aprendizado!

Solicite aos estudantes que também utilizem as perguntas desta seção para autoavaliar suas compreensões sobre as principais ideias discutidas nesta unidade. Proponha a eles que retomem as respostas da seção **Pense nisso!** que elaboraram no início do estudo desta unidade e as reescrevam com base nos seus conhecimentos atuais sobre os temas estudados. A autoavaliação do processo de aprendizagem favorece tanto o desenvolvimento da metacognição como o autoconhecimento, viabilizando, portanto, a mobilização das **competências gerais 1 e 6**. Em conjunto com a autoavaliação dos estudantes, utilize as elaborações deles ao longo de todo o trabalho como forma de avaliar a aprendizagem continuamente, identificando e dirimindo as lacunas de compreensão.

Educação midiática

A seção tem como objetivo que os estudantes desenvolvam as habilidades de:

- explorar as redes sociais como espaços de comunicação de causas socioambientais.
- refletir sobre aspectos relativos à credibilidade e autoridade discursiva de influenciadores digitais.
- produzir mensagem informativa e engajadora acerca da sustentabilidade ambiental.

A respeito das questões iniciais, podem ser levantados os seguintes aspectos:

1. Espera-se que os estudantes mencionem a disseminação das informações sobre a causa ambiental graças a uma jovem e a uma mulher indígena, ambas interessadas e engajadas no tema enquanto cidadãs que vivem em contextos sociais diferentes, mas ambos de vulnerabilidade. Além disso, trata-se de um uso das redes sociais voltado à transformação social e não apenas para mero consumo de conteúdo ou entretenimento.

2. Espera-se que os estudantes mencionem a ampliação de visibilidade às questões socioambientais, uma vez que essas ativistas se destacam ao compartilhar seu trabalho, os problemas e crimes que conhecem, bem como a experiência pessoal delas na luta pela preservação ambiental em diferentes contextos.

No tópico **Ampliação de repertório**, algumas informações adicionais sobre as ativistas são as seguintes.

Alessandra Korap Mundukuru:

- É uma das principais lideranças indígenas da região do rio Tapajós, no Pará.
- Em 2023, era presidente da Associação Indígena Pariri.
- Seu trabalho fez com que empresas de mineração de grande porte desistissem de explorar seu território.
- Dedica-se a denunciar atividades ilegais não apenas de garimpo mas também da indústria madeireira.

Amanda da Cruz Costa:

- Criou o Perifa Sustentável, em 2019, quando tinha 20 anos.
- Já participou de quatro edições da Conferência do Clima da ONU (COP).
- Na COP 27, que aconteceu no Egito, em 2022, ela falou sobre racismo climático e defendeu a necessidade de descolonizar o debate sobre meio ambiente.

- Foi considerada uma das brasileiras mais destacadas do mundo com menos de 30 anos pela **Revista Forbes**, em 2020, por seu trabalho com empreendedorismo social.

Ativistas são pessoas que se engajam em um tema, que desenvolveram consciência social por terem vivido ou presenciado situações de vulnerabilidade social. Os ativistas diferem dos especialistas, que abordam a situação, muitas vezes, de forma impessoal e, por isso, podem ser menos engajadores. Contudo, as duas formas de atuação podem se sobrepor, ou seja, podem existir pessoas que são especialistas e ativistas simultaneamente.

A credibilidade que possuem está relacionada à construção da imagem diante da comunidade, por meio de ações particulares ou coletivas que transpassem comportamento eticamente correto.

No tópico **Produção de conteúdo** é sugerida a elaboração de um esboço de uma postagem no formato de *cards* em uma rede social. Espera-se que os estudantes sejam capazes de se expressar de forma sucinta, de maneira que incentive o engajamento do público-alvo.

Nesse primeiro passo, a ideia é que o grupo de estudantes possa discutir apenas um problema ambiental de seu entorno. Pode ser uma questão da própria escola ou da comunidade da qual façam parte. Questões como ausência de área verde, acúmulo de lixo nas vias públicas, abandono de animais, captura e/ou venda ilegal de animais silvestres, poluição da água, falta de saneamento básico adequado, entre outros, podem ser escolhidas pelos estudantes, desde que as identifiquem em seus próprios contextos.

A partir da identificação e escolha do problema para o qual vão criar mensagens engajadoras, os estudantes refletem sobre o que precisa mudar no problema identificado. No caso da ausência de áreas verdes, por exemplo, uma mudança possível seria a necessidade do plantio de mais árvores ou do estabelecimento de um parque no bairro. Se o problema for o acúmulo de lixo em lugares públicos, a solução poderia ser informar as pessoas sobre os malefícios dessa prática ou ainda pressionar o poder público para a limpeza da área.

Os estudantes devem, agora, refletir sobre a mensagem que vão criar. Em primeiro lugar, devem pensar em como o conteúdo pode contribuir para a resolução do problema. Dessa forma, devem definir se querem mobilizar as pessoas a adotar um comportamento diferente, a acompanhar uma discussão política, a pressionar o poder público a tomar atitudes para a melhora de uma situação etc. Após definido esse objetivo, devem pensar na estratégia a ser adotada, ou seja, como chamar a atenção do público e que elementos a mensagem deve ter para que este corresponda às expectativas do grupo. Por exemplo: imagens de um local com acúmulo de lixo, atreladas a imagens de ratos e outras pragas urbanas, podem provocar a sensação de nojo e preocupação no público, importantes para que as pessoas não descartem lixo de forma inadequada.

Uma postagem com 3 a 6 *cards* é suficiente para atingir os objetivos de aprendizagem da aula. Antes de produzir os *cards* propriamente ditos, no entanto, os estudantes devem esboçá-los em uma folha de papel. Isso envolve pensar no texto, nas imagens e em como esses dois elementos vão compor uma mensagem de forma clara e interessante.

Após a construção do esboço, os estudantes devem executar a ideia. Podem usar modelos prontos disponíveis em *softwares*, ainda que estes não correspondam ao esboço inicial. Para isso, é importante que haja um dispositivo por grupo com acesso à internet, que pode ser celular, *tablet* ou computador. O trabalho com essa atividade proporciona o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT302**.

A **Autoavaliação**, ao final da seção, apresenta alguns critérios para a autoavaliação dos estudantes. Caso considere pertinente, monte uma tabela de rubricas considerando os níveis de desempenho: avançado, adequado, satisfatório e insuficiente para cada um dos critérios sugeridos.

UNIDADE 3 ÁGUA E ALIMENTOS

Vivemos em um tempo de enormes desafios para o desenvolvimento sustentável. O esgotamento dos recursos naturais e os impactos negativos da degradação ambiental, incluindo a desertificação, as secas, a degradação dos solos, a escassez de água doce e a perda de biodiversidade, acrescentam e exacerbam a lista de desafios a serem enfrentados. Nessa perspectiva, a unidade 3 aborda temáticas globais relevantes, cuja escolha foi embasada nos TCTs da BNCC e nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável 2 e 6 da Agenda 2030 da ONU. Abordar a água e os alimentos por meio da Ciências da Natureza e suas Tecnologias possibilita ao estudante fazer escolhas e intervenções conscientes diante de problemas do cotidiano, pautadas nos princípios da sustentabilidade e nos direitos humanos, a fim de promover o bem comum.

1. A água própria para consumo representa uma quantidade muito pequena da água que cobre o nosso planeta. Além disso, a água própria para consumo não está igualmente distribuída no planeta Terra, algumas sociedades enfrentam escassez, enquanto outras possuem com abundância.
2. Deve ser livre de agentes biológicos que possam causar doenças e conter quantidade muito ínfimas de metais pesados.
3. Há vários processos, como: o aquecimento da água, dessalinização, tratamento pela companhia responsável pelo abastecimento, utilização do cloro. Ressalte que os tratamentos caseiros são parcialmente funcionais (a fervura não elimina metais), e que o cloro é uma substância utilizada na ação contra agentes biológicos cujo excesso também é um fator que pode tornar a água imprópria para consumo.
4. Podem ser citados: o resfriamento, a conservação em banha de animal (ou óleo) e o uso de sal. O resfriamento torna lento o processo de proliferação de microrganismos, aumentando a vida útil do alimento. A conservação em banha de animal não deixa o alimento entrar em contato com o ar e, consequentemente, o gás oxigênio, inibindo a proliferação de agentes biológicos aeróbicos; já o sal elimina os agentes biológicos matando-os por desidratação (por meio da osmose).
5. Sim. Existem reações químicas que são reversíveis, porém, não se aplica a todos os casos. Aproveite a oportunidade para trabalhar conceitos como reversibilidade e equilíbrio químico, no qual reagentes e produtos coexistem.

Capítulo 9 Água potável: parâmetros físico-químicos

Neste capítulo, conceitos como solubilidade, saturação, quantidade de substância, grau de ionização, dissociação iônica e diferentes formas de cálculo de concentração terão como cerne a água. Aproveite a abrangência da temática para trabalhar, se possível, com outros professores de outras áreas do conhecimento, como Geografia, Matemática e Língua Portuguesa.

Objetivos de aprendizagem

Espera-se que, ao término deste capítulo, o estudante seja capaz de:

- diferenciar eletrólitos fracos, fortes e não eletrólitos com base em testes de condutividade elétrica.
- relacionar a condutividade elétrica das soluções com o grau de ionização ou dissociação iônica.
- compreender os fatores que influenciam a quantidade de gás oxigênio dissolvido em corpos-d'água.
- expressar a concentração de uma solução de diferentes formas, reconhecendo as relações entre elas e sua utilidade na interpretação de rótulos de produtos e da legislação.
- relacionar a escala de pH com a concentração em quantidade de substância de cátions hidrogênio e com a acidez das soluções.
- reconhecer a ocorrência de hidrólise salina e suas consequências no pH das soluções aquosas.
- compreender os conceitos de caráter ácido e caráter básico como decorrentes de interações entre substâncias.

Por dentro da BNCC

- **Competências gerais:** 5 e 10
- **Habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias:** EM13CNT101, EM13CNT104 e EM13CNT307
- **Tema contemporâneo transversal:** Saúde

Sugestões didáticas

Inicie o trabalho retomando o conceito de substância e estabeleça a diferença entre os conceitos de pureza, do ponto de vista da Química, e potabilidade, com base nos seguintes questionamentos: "Como reconhecer se uma substância é pura?"; "A água que chega à sua casa é considerada pura?"; "Quais são os significados de água pura e água potável?"; "Esses tipos de água apresentam as mesmas propriedades?". Registre as respostas na lousa e explique aos estudantes que a pureza indica que a espécie química água é somente água (H_2O) e tem propriedades específicas que a caracterizam, como temperatura de ebulição de 100 °C a 1 atm, temperatura de fusão de 0 °C a 1 atm e densidade a 20 °C de 0,998 g cm^{-3}. Já a potabilidade se refere ao auxílio na manutenção da saúde dos seres vivos, incluindo o ser humano.

Se possível, peça aos estudantes que levem para a sala de aula um rótulo de água mineral e o comparem com o rótulo apresentado no capítulo. Faça-os perceber as diferenças em termos de composição química.

Discuta os tópicos trabalhados ao longo do capítulo: "Solubilidade", "Saturação", "Curva de solubilidade", "Soluções eletrolíticas e não eletrolíticas", "Concentração" e "Caráter ácido-base". Se julgar pertinente, peça que identifiquem no rótulo características como concentração de algumas espécies químicas, pH (e a temperatura de medição) e a condutividade elétrica (e a temperatura de medição).

O estudo das propriedades das soluções contribui para o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT307**; assim, quando abordá-lo, verifique as concepções dos estudantes a respeito dos conceitos de sistema homogêneo e heterogêneo, substância pura e solução. Algumas propostas para trabalhar o conceito de solução são apresentadas no artigo: CARMO, M. P; MARCONDES, M. E. R. Abordando soluções em sala de aula – uma experiência de ensino a partir das ideias dos alunos. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 28, p. 37-41, 2008. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc28/09-AF-1806.pdf. Acesso em: 14 set. 2024. Comente que é possível preparar uma solução em que a água é o soluto e o etanol é o solvente. Mencione ainda que é possível ter soluções no estado físico gasoso (ou estado de agregação), como o ar atmosférico; e no estado físico sólido, como as ligas metálicas (bronze, latão, ouro 18 quilates).

Quando abordar o tópico "Caráter ácido-base", amplie a discussão desenvolvendo, com os estudantes, uma escala de pH a partir do extrato de repolho-roxo, e classifique os materiais presentes no cotidiano em ácidos ou básicos. O importante é que eles identifiquem que o caráter ácido e o caráter básico decorrem de interações entre substâncias e, assim, desenvolvam a habilidade **EM13CNT101**.

Outra sugestão para identificar o caráter ácido, básico ou neutro dos materiais e mobilizar a **competência geral 5** é por meio do simulador indicado na seção **Fique por dentro**.

Oriente os estudantes a consultar a Resolução nº 357/2005, do Conama, bem como a Portaria nº 518/2004, que estabelece os procedimentos e a vigilância da qualidade da água para o consumo humano e seu padrão de potabilidade. Sugira a leitura dos relatórios de qualidade da água distribuída pelo sistema de abastecimento e o Índice de Qualidade das Águas (IQA). A análise das leituras sugeridas e a criação da estratégia de conscientização permitem que os estudantes avaliem os riscos da exposição e do consumo da água com base em sua composição, o que contribui para o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT104**, bem como da **competência geral 10**. Essa abordagem está no contexto do **TCT Saúde**.

Proposta de avaliação

A avaliação da aprendizagem pode ser realizada, em caráter formativo, por meio das diferentes atividades propostas ao longo do capítulo. A seção **Atividades de fechamento**, ao final do capítulo, visa avaliar a aprendizagem dos estudantes em relação aos principais conteúdos abordados, incluindo questões de vestibular, a fim de preparar os estudantes para exames de larga escala.

Resoluções e comentários

Aplique e registre

1. Solução HB. Há uma maior quantidade de íons indicando que o ácido genérico HB apresenta ionização maior que os demais ácidos genéricos, portanto, conduzirá eletricidade melhor que HA e HC, que será percebida por meio do brilho da lâmpada.

2. **I.** 200 g de sacarose ——— 100 mL de água
x ——— 50 mL de água
x = 100 g > 90 g adicionadas; sistema homogêneo

II. 200 g de sacarose ——— 100 mL de água
y ——— 500 mL de água
y = 1.000 g < 1.200 g adicionadas; sistema heterogêneo

III. 320 g de sacarose ——— 100 mL de água
z ——— 200 mL de água
z = 640 g = 640 g adicionadas; sistema homogêneo

IV. 320 g de sacarose ——— 100 mL de água

w ——— 500 mL de água

$w = 1.600$ g < 2.000 g adicionadas; sistema heterogêneo

3. A saída mais vigorosa do gás ocorrerá a 20 °C, pois quanto maior a temperatura, menor a solubilidade do gás dióxido de carbono em água.

4. Alternativa **d**. O açúcar é um composto molecular e não conduz eletricidade em qualquer condição. Já o cloreto de sódio é um composto iônico e pode conduzir eletricidade se estiver no estado líquido ou se estiver dissolvido em solvente apropriado, como água. Os metais são bons condutores de eletricidade em razão dos elétrons livres.

5. A mais diluída seria a solução A, pois é a que apresenta menor quantidade de soluto para o maior volume; a mais concentrada seria a solução B, que apresenta a maior relação entre a quantidade de partículas de soluto e o volume, ou seja, maior quantidade de soluto para o menor volume.

6. Sistema I

$0{,}005 \text{ mg} = 5 \cdot 10^{-6}$ g

1 L de água ——— $5 \cdot 10^{-6}$ g de benzeno

V_I ——— 10 g de benzeno

$V_I = 2.000.000$ L

Sistema II

0,005 mg de benzeno ——— 1 L de água

m_{II} ——— 10 L de água

$m_{II} = 0{,}05$ mg

Sistema III

0,005 mg de benzeno ——— 1 L de água

m_{III} ——— 12.000 L de água

$m_{III} = 60$ mg $= 0{,}06$ g

Sistema IV

1 L água ——— 0,005 mg de benzeno

V_{IV} ——— 200 mg de benzeno

$V_{IV} = 40.000$ L $= 40.000.000$ cm^3

7. Limite de ingestão de F^-: 0,07 mg kg^{-1}

Massa corporal da criança: 20 kg

Concentração de F^- na água mineral comercial: 0,14 mg L^{-1}

Cálculo da massa máxima de fluoreto que pode ser ingerida:

0,07 mg de F^- ——— 1 kg de massa corporal

x ——— 20 kg de massa corporal

$x = 1{,}4$ mg de F^-

Cálculo do volume máximo de água mineral comercial que pode ser ingerido:

1 L de água mineral ——— 0,14 mg de F^-

y ——— 1,4 mg de F^-

$y = 10$ L

Portanto, a criança poderia consumir até 10 L da água mineral por dia – um valor altíssimo se comparado com o consumo normal diário de água de cerca de 2 L.

8. Alternativa **a**. O sulfeto de sódio (Na_2S) deriva de uma base forte (NaOH) e de um ácido fraco (H_2S). Íons provenientes de espécies fortes não hidrolisam, enquanto os íons de uma espécie fraca sim. No caso, os íons sulfeto (S^{2-}). Em água, portanto, esse sal é hidrolisado e sua solução apresenta caráter básico, aumentando o valor do pH.

Atividades de fechamento

1. Alternativa **b**.

22,3 g sulfato de cobre ——— 100 mL

x ——— 1.000 mL (1 L)

$x = 223$ g sulfato de cobre dissolvidos

223 g sulfato de cobre ——— 1.000 mL

y ——— 700 mL

$y = 156{,}1$ g sulfato de cobre dissolvidos

$m_{precipitado} = 223 \text{ g} - 156{,}1 \therefore m_{precipitado} = 66{,}9$ g

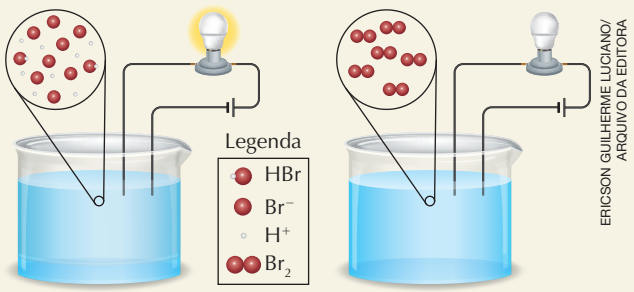
2. O brometo de hidrogênio (HBr) se ioniza em meio aquoso, produzindo íons hidrogênio e íons brometo solvatados, como representado a seguir.

$$HBr(g) \xrightarrow{H_2O} H^+(aq) + Br^-(aq)$$

A interação entre as moléculas de água e as moléculas de HBr leva ao rompimento das ligações covalentes do HBr, formando a solução eletrolítica. As interações entre as moléculas de água e as moléculas do gás bromo não são suficientemente fortes para romper as ligações entre os átomos de bromo. Logo, não há ionização (apenas dissolução) e esse gás em solução aquosa pode ser classificado como não eletrólito, conforme representado a seguir.

$$Br_2(g) \xrightarrow{H_2O} Br_2(aq)$$

Uma representação possível é apresentada a seguir.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA

3. **a.** A solubilidade do nitrato de chumbo(II) a 20 °C em 100 g de água é de ≃ 56 g. Portanto, dos 75 g de $Pb(NO_3)_2$ adicionados, ≃ 56 g serão dissolvidos, e o excedente de ≃ 19 g permanecerá como corpo de fundo na solução. A solução é saturada.

b. Como a cada 100 g de água é possível dissolver até ≃ 56 g de $Pb(NO_3)_2$, a quantidade proporcional de água será necessária para dissolver 75 g de nitrato de chumbo(II). Logo:

100 g de água ——— 56 g de $Pb(NO_3)_2$

x g de água ——— 75 g de $Pb(NO_3)_2$

$x \simeq 134$ g de água

4. **a.** A – $FeC\ell_3$; B – $FeC\ell_2$.

Quanto maior a concentração de íons livres em solução, maior é a condutividade elétrica; portanto, mais intenso será o brilho da lâmpada. Assim, é necessário comparar a concentração de íons livres para cada substância.

$FeC\ell_2(s) \xrightarrow{H_2O} Fe^{2+}(aq) + 2\,C\ell^-(aq)$

0,2 mol L^{-1} — 0,2 mol L^{-1} — $2 \cdot 0{,}2$ mol L^{-1}

No total, temos 0,6 mol L^{-1} de íons.

$$FeC\ell_3(s) \xrightarrow{H_2O} Fe^{3+}(aq) + 3\,C\ell^-(aq)$$
$$0{,}2\ mol\ L^{-1} \qquad 0{,}2\ mol\ L^{-1} \qquad 3 \cdot 0{,}2\ mol\ L^{-1}$$

No total, temos 0,8 mol L^{-1} de íons.

b. Dos íons presentes, são os cátions Fe^{3+} que reagem com a água, formando um eletrólito fraco e diminuindo o pH da solução. O processo pode ser descrito conforme as equações químicas a seguir.

$$FeC\ell_3(s) \xrightarrow{H_2O} \cancel{Fe^{3+}}(aq) + 3\,C\ell^-(aq)$$

$$3\,H_2O(\ell) \rightleftharpoons 3\,H^+(aq) + 3\,\cancel{OH^-}(aq)$$

$$Fe^{3+}(aq) + 3\,\cancel{OH^-}(aq) \rightleftharpoons Fe(OH)_3(s)$$

$$FeC\ell_3(s) + 3\,H_2O(\ell) \rightleftharpoons Fe(OH)_3(s) + 3\,H^+(aq) + 3\,C\ell^-(aq)$$

solução de caráter ácido

5. a. O valor médio do pH do corpo-d'água A é:

$$pH(A) = \frac{6{,}1 + 6{,}1 + 6{,}0}{3} \simeq 6{,}1$$

O valor médio do pH do corpo-d'água B é:

$$pH(B) = \frac{7{,}1 + 7{,}4 + 7{,}2}{3} \simeq 7{,}2$$

Com base nas médias de pH de cada amostra, é possível concluir que a molinésia preta se desenvolveria adequadamente apenas no corpo-d'água B.

b. A diferença de pH entre os corpos-d'água é de, em média, uma unidade; portanto, a diferença na concentração hidrogeniônica dos dois corpos-d'água é de aproximadamente 10 vezes.

6. Espera-se que os estudantes convertam a concentração de chumbo em g L^{-1} em concentração em mol L^{-1}. Se o valor encontrado após a conversão for menor que $1 \cdot 10^{-7}$ mol L^{-1} de chumbo, os estudantes devem perceber que o equipamento não é adequado para essa análise. O cálculo de conversão pode ser feito pela seguinte regra de três:

Massa de Pb		Quantidade de substância de Pb
207,2 g	———	1 mol
$1 \cdot 10^{-8}$ g	———	n(Pb)

$$n(Pb) = \frac{1 \cdot 10^{-8}\ g \cdot 1\ mol}{207{,}2\ g} \therefore n(Pb) \simeq 4{,}8 \cdot 10^{-11}\ mol$$

Como o valor calculado é menor que o quantificável pelo equipamento, conclui-se que ele não é adequado para análise.

7. a. Como, quanto maior a inclinação da reta, maior a constante de Henry, a reta 1 corresponde ao gás oxigênio, a reta 2 ao gás nitrogênio, e a reta 3 ao gás hélio.

b. Pela lei de Henry ($s = k_H\,p$), a solubilidade é diretamente proporcional à pressão que o gás exerce sobre o líquido. Sendo assim, a 1 atm, a dissolução é maior.

c. As frações em quantidade de substância para os gases oxigênio e nitrogênio são 0,2 atm e 0,8 atm, respectivamente. Assim, para o oxigênio, tem-se:

$s = 1{,}3 \cdot 10^{-3}$ mol L^{-1} $atm^{-1} \cdot 0{,}2$ atm

$\therefore s = 2{,}6 \cdot 10^{-4}$ mol L^{-1}

E, para o nitrogênio, tem-se:

$s = 7{,}0 \cdot 10^{-4}$ mol L^{-1} $atm^{-1} \cdot 0{,}8$ atm

$\therefore s = 5{,}6 \cdot 10^{-4}$ mol L^{-1}

Assim, embora a fração em quantidade de substância do gás oxigênio seja quatro vezes menor que a do gás nitrogênio, o O_2 apresenta solubilidade aproximadamente duas vezes menor que o N_2 graças à sua maior constante de Henry.

d. Enquanto a constante de Henry depende da temperatura do gás e do líquido, a solubilidade do gás no líquido depende também da pressão. Assim, ao analisar a solubilidade dos gases à mesma temperatura e pressão, espera-se que os estudantes identifiquem a afirmação como verdadeira. No entanto, se as pressões parciais dos gases forem distintas, a afirmação pode tornar-se falsa, como demonstrado no item anterior.

Capítulo 10 Água potável: métodos de obtenção

Neste capítulo, serão abordados métodos de separação de misturas a partir dos diferentes processos de tratamento da água potável. Ao longo das sugestões didáticas, abordaremos formas de trabalho em que o diálogo e a troca entre pares estarão presentes como facilitadores do processo de ensino e aprendizagem.

Objetivos de aprendizagem

Espera-se que, ao término deste capítulo, o estudante seja capaz de:

- compreender a função de cada etapa do tratamento convencional para obtenção de água potável.
- identificar os processos de separação de misturas envolvidos no tratamento de água convencional.
- diferenciar os tipos de dispersão (solução, dispersão coloidal e suspensão) em função do tamanho da partícula.
- conhecer alguns métodos de dessalinização da água salgada.
- compreender a influência das substâncias dissolvidas na água para o processo de dessalinização.

Por dentro da BNCC

- **Competências gerais:** 1, 5 e 9
- **Habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias:** EM13CNT104, EM13CNT303, EM13CNT307 e EM13CNT310
- **Temas contemporâneos transversais:** Saúde, Ciência e tecnologia

Sugestões didáticas

Utilize a estratégia metodológica da sala de aula invertida, solicitando aos estudantes que leiam os tópicos presentes no Livro do Estudante. Para guiar o estudo extraclasse, oriente-os a responderem às seguintes questões: "Qual é o assunto?", "Que conhecimento eu tenho a respeito do conteúdo?", "Quais são os pontos mais importantes?", "Eu conseguiria explicar o conteúdo para alguém?".

Em sala, utilize a rotina de pensamento *think pair share* (pense e compartilhe em pares). Solicite aos estudantes que, individualmente, respondam no caderno aos seguintes questionamentos: "O que aprendi com o estudo?", "Quais foram as minhas dificuldades para compreender o conteúdo?", "O que ainda não consegui compreender totalmente?".

Em seguida, peça que formem duplas e compartilhem suas respostas às questões anteriores. Essa abordagem favorece o desenvolvimento das **competências gerais 5** e **9**.

Ainda em duplas, oriente-os a resolver as questões da seção **Aplique e registre**. Utilize as respostas às questões para verificar se compreenderam os conceitos estudados. Esse material fornecerá pistas das dificuldades ainda presentes e orientará na criação de estratégias didáticas.

Por fim, conduza uma discussão com os estudantes questionando-os o que aprenderam durante as trocas de ideias e leituras, bem como com a resolução dos exercícios e se algo os surpreendeu.

Sobre o processo de tratamento de água, verifique se os estudantes apresentam ideias contraditórias, como admitir que a água proveniente de reservatórios seja mais pura que a água que passa pela estação de tratamento por causa da adição de produtos químicos, como o cloro. Essa contradição já foi identificada no estudo a seguir. TOQUETTO, A. *et al*. O tratamento de água em narrativas discentes: uma pesquisa na formação inicial de professores de Química. *In*: XVI Encontro Nacional de Ensino de Química e X Encontro de Educação Química da Bahia. Salvador, 2012. Disponível em: https://portalseer.ufba.br/index.php/anaiseneq2012/article/view/7274/5167. Acesso em: 25 set. 2024.

Na etapa da cloração, destaque os potenciais riscos à saúde decorrentes dos subprodutos gerados com a adição de cloro, nas formas de gás cloro e hipoclorito de sódio. Entre eles estão os trialometanos, que têm sido identificados como substâncias cancerígenas. Essa discussão favorece o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT104**. Comente que países como França, Alemanha e Estados Unidos já empregam desinfetantes alternativos no tratamento de água pública. O desenvolvimento da habilidade **EM13CNT310** e da **competência geral 1** é favorecido durante a avaliação da aplicação segura das etapas de cloração e fluoretação no tratamento convencional e na dessalinização da água.

Comente que o acesso à água tratada é um indicador de desenvolvimento de um país e que o acesso a ela é essencial para a saúde; essa abordagem é feita na seção **Trabalho e juventudes** e se insere no contexto do **TCT Saúde**. Reserve uma aula para a leitura e discussão e resolução das questões.

Na discussão sobre a dessalinização, mencione o estudo publicado, em 2018, pela Organização das Nações Unidas (ONU), que apontou a existência de quase 16 mil usinas de dessalinização operando em 177 países, conforme estudo a seguir. NAÇÕES UNIDAS BRASIL. ONU alerta contra impactos ambientais da dessalinização para fornecimento de água doce. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/83075-onu-alerta-contra-impactos-ambientais-da-dessaliniza%C3%A7%C3%A3o-para-fornecimento-de-%C3%A1gua-doce. Acesso em: 23 set. 2024.

Mencione que um dos subprodutos da dessalinização é a água salobra tóxica, que, ao ser descarregada no mar, pode degradar os ecossistemas costeiros e marinhos. Além disso, os compostos utilizados no processo de pré-tratamento da dessalinização, como o cloreto e o cobre, podem ser tóxicos aos organismos aquáticos. Essa discussão favorece o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT104**.

Peça aos estudantes que leiam e respondam às questões da seção **Em foco** em horário extraclasse. Ao relacionar a aplicação de tecnologias ao acesso e disseminação do saneamento básico, contribuímos para o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT303** e **EM13CNT310**. Essa abordagem está no contexto do **TCT Ciência e tecnologia**.

Quando os estudantes são conduzidos a analisar a influência das propriedades físico-químicas das misturas – densidade, solubilidade, pressão de vapor e pressão osmótica – empregadas nas etapas de floculação e decantação do método convencional de tratamento de água, bem como nos processos de dessalinização, estão desenvolvendo a habilidade **EM13CNT307**.

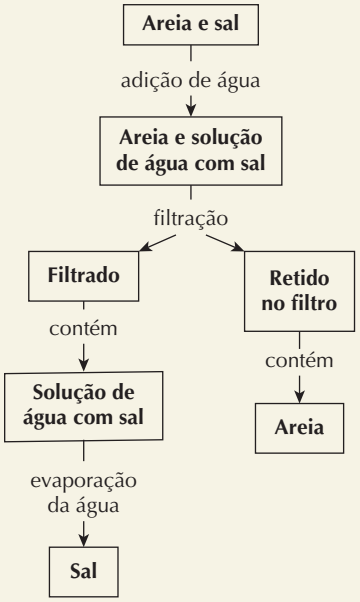
Proposta de avaliação

A avaliação da aprendizagem pode ser realizada, em caráter formativo, por meio das diferentes atividades propostas ao longo do capítulo. A seção **Atividades de fechamento**, ao final do capítulo, visa avaliar a aprendizagem dos estudantes em relação aos principais conteúdos abordados, incluindo questões de vestibular, a fim de preparar os estudantes para exames de larga escala.

Resoluções e comentários

Aplique e registre

1. A areia com sal deve ser colocada em um copo. Em seguida, deve ser adicionada água, e o sistema deve ser agitado (com a colher) para prover a rápida dissolução do sal na água. Deve-se utilizar o filtro de papel e recolher a solução (filtrado) em outro copo. A areia ficará retida no filtro e a água com sal (solução) ficará no segundo copo. Se deixarmos a água evaporar, será obtido o sal que estava com a areia.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

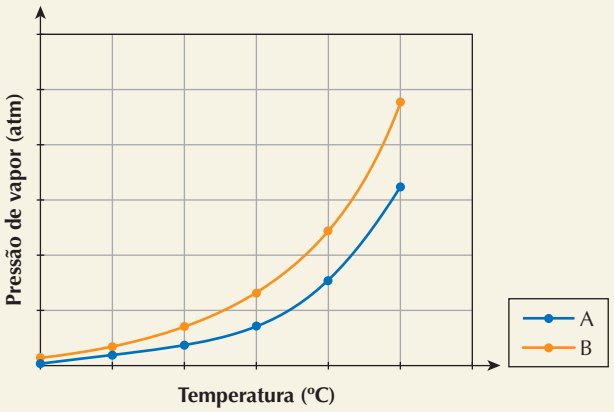
2. **a.** É um sistema homogêneo, pois é constituído por uma só fase, cujo solvente é a água e cujos solutos são as substâncias extraídas do pó de café.

b. A extração desses componentes não será quanto em água quente, já que a solubilidade deles será menor na temperatura considerada; portanto, eles praticamente não se dissolverão na água.

3. Alternativa **c**. A densidade das partículas desempenha um papel essencial no método de separação por decantação, pois determina a capacidade das partículas de se sedimentarem no líquido. Partículas mais densas tendem a afundar mais rapidamente, enquanto partículas menos densas permanecem suspensas por mais tempo. Isso possibilita a separação de sólidos de líquidos ou líquidos de densidades diferentes, pois as partículas com diferentes densidades sedimentam-se em velocidades distintas, tornando a decantação um método eficaz para separar componentes em uma mistura heterogênea.

4. A ejeção da rolha do frasco B pode ter sido resultado da maior volatilidade desse líquido. Sua maior pressão de vapor pode ter sido suficiente para ejetá-la. O líquido contido no frasco A deve ser menos volátil que o líquido contido no frasco B. Sua menor pressão de vapor na temperatura de estudo não foi suficiente para ejetar a rolha. O gráfico deve indicar a curva da substância contida no frasco B como a curva da substância mais volátil, e a da substância contida no frasco A, como a da substância menos volátil, conforme o exemplo a seguir.

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA



5. As soluções reais tendem a se aproximar do comportamento de uma solução ideal, desde que satisfaçam às condições de baixa concentração de soluto (soluções muito diluídas), de proximidade dos tamanhos das partículas de soluto e solvente e de similaridades nas interações intermoleculares (soluto-soluto, solvente-solvente e soluto-solvente).

6. **a.** $i(C_6H_{12}O_6) = 1$. O composto molecular não ioniza em solução aquosa.

$$C_6H_{12}O_6(s) \xrightarrow{H_2O} C_6H_{12}O_6(aq)$$

b. O composto se ioniza parcialmente formando quatro mols de íons por mol de soluto em solução aquosa.

$$H_3PO_4(s) \xrightarrow{H_2O} 3\,H^+(aq) + PO_4^{3-}(aq)$$

Se todas as moléculas se ionizassem completamente, o resultado seria $i(H_3PO_4) = 4$. No entanto, o grau de ionização é 27%, logo:

$i = 1 + \alpha(n - 1) \Rightarrow i = 1 + 0{,}27(4 - 1) \therefore i = 1{,}81$

Trabalho e juventudes

1. Espera-se que os estudantes compreendam que a falta de acesso à água tratada pode aumentar a incidência de doenças por veiculação hídrica, como ocorreu em 2021, o que afeta principalmente crianças e jovens em idade escolar, comprometendo sua saúde e seu desenvolvimento. Além disso, regiões com menor acesso a saneamento básico são habitadas por pessoas em situação de vulnerabilidade econômica e social, principalmente pessoas negras, e a soma dessas vulnerabilidades tende a afastar jovens do ambiente escolar. Todos esses fatores somados comprometem o acesso dos jovens ao mundo do trabalho, principalmente ao trabalho formal, o que pode diminuir suas chances de sair da situação de vulnerabilidade.

2. **a.** Espera-se que os estudantes compreendam que participar de projetos e programas como os pesquisados durante o Ensino Médio possibilita aos jovens explorar e ampliar suas habilidades e preferências, ganhar experiência em áreas nas quais podem vir a atuar no futuro e contribuir para a transformação da realidade em que estão inseridos.

b. Espera-se que os estudantes compreendam que a garantia do acesso à água tratada é um direito humano e uma obrigação do Estado. Ou seja, por mais que iniciativas individuais contribuam para esse acesso, ainda é dever dos órgãos públicos promover obras de universalização do acesso ao saneamento básico.

c. Espera-se que os estudantes citem a organização popular para cobrar ações dos órgãos públicos, a fiscalização constante de obras iniciadas e a conscientização da necessidade da ação popular constante.

3. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes apontem eventuais problemas na distribuição de água, coleta de água em poços artesianos entre outros. Oriente-os na busca pelo orgão público responsável pelo fornecimento de água e como eles podem entrar em contato com esse orgão.

Em foco

1. A técnica de osmose reversa é a mais utilizada devido ao seu baixo custo operacional e à eficácia na remoção de sais da água marinha. O gasto energético para esse processo é de aproximadamente 4 quilowatts-hora (kWh) por metro cúbico (m^3) de água purificada, tornando-o mais eficiente em termos energéticos em comparação com outras técnicas de dessalinização, como a térmica. Além disso, a osmose reversa é amplamente adotada em todo o mundo em razão da sua comprovada eficácia e do custo inicial relativamente baixo para a instalação de sistemas de dessalinização com essa tecnologia.

2. A principal vantagem da tecnologia de deionização capacitiva em relação à osmose reversa é a redução da demanda energética e dos custos de operação. Isso ocorre porque a deionização capacitiva não requer pressões elevadas para operar, o que implica menor consumo de energia em comparação com a osmose reversa. Além disso, a deionização capacitiva pode ser mais econômica, sobretudo na dessalinização de águas salobras.

3. As membranas de óxido de grafeno podem melhorar a eficiência da dessalinização e reduzir o consumo de energia porque atuam como uma peneira para remover o sal da água marinha ou salobra. O uso dessas membranas reduz consideravelmente o atrito quando a água salgada passa por elas em comparação com as membranas tradicionais de polímero usadas na osmose reversa. Isso resulta em uma redução significativa no gasto energético, estimada em até 50%.

4. Alguns itens que podem ser apresentados são os seguintes.
   - Um dos subprodutos da dessalinização é uma água salobra tóxica, que pode degradar os ecossistemas costeiros e marinhos.
   - Para cada litro de água potável obtido, é produzido 1,5 L de líquidos poluídos contendo cloro e cobre, os quais podem ser tóxicos para organismos que vivem onde os resíduos são despejados.
   - A água salobra tóxica diminui o volume de gás oxigênio na água, impactando os organismos ao longo da cadeia alimentar.
   - O processo de dessalinização consome muita energia.

   Os **ODS** associados ao assunto são: (6) Água potável e saneamento; (11) Cidades e comunidades sustentáveis e (12) Consumo e produção responsáveis.

Atividades de fechamento

1. Alternativa **a**. Espera-se que os estudantes compreendam a função de cada componente do aparato de destilação.
2. Alternativa **b**. Espera-se que os estudantes consigam interpretar etapas de um processo representadas em um fluxograma, e assim transitar entre diferentes formas de representação.
3. Alternativa **e**.

   I. Incorreta. As partículas retidas na filtração (etapa 4) podem ser maiores que as partículas removidas por decantação (etapa 3), pois o fator determinante para a decantação é a densidade da partícula em relação à solução.

   II. Incorreta. A etapa 3 corresponde à decantação, em que as partículas mais densas formadas por aglutinação afundam no tanque por ação da gravidade.

   III. Incorreta. O tratamento de água remove alguns tipos de substâncias e entidades biológicas. No entanto, alguns sais minerais permanecem solúveis ao longo do processo. Além disso, a adição de compostos clorados para a desinfecção antes da etapa de coagulação leva à formação de trialometanos (THM), não removidos nas etapas posteriores.
4. Alternativa **c**.
   a. Incorreta. A diluição afeta mais o fator de van't Hoff de soluções eletrolíticas que o de soluções não eletrolíticas.
   b. Incorreta. A alteração na concentração altera o valor do fator de van't Hoff observado no caso de soluções eletrolíticas, mas não tem efeito no caso das soluções não eletrolíticas.
   d. Incorreta. O desvio em relação ao valor teórico não é igual para todas as soluções eletrolíticas apresentadas. Os desvios são, respectivamente, 0,03; 0,16 e 0,18.
5. A solução que apresenta concentração de 6 mol L^{-1} está mais concentrada que a solução que apresenta concentração de 3 mol L^{-1}. Nesse caso, haverá fluxo de solvente através da membrana semipermeável, no sentido da solução mais diluída para a mais concentrada. Dessa forma, o volume da solução mais concentrada aumentará, e o da mais diluída, diminuirá.
6. Alternativa **e**. O sentido do fluxo de água pode ser revertido se as resultantes das pressões osmótica e mecânica apresentarem sentidos opostos e a pressão mecânica tiver maior intensidade que a pressão osmótica.
7. Experimento I: concentração de partículas na solução de $NaC\ell$ = 0,2 mol L^{-1} (2 íons por fórmula unitária); na de glicose = 0,1 mol L^{-1}. Maior pressão osmótica da solução de $NaC\ell$; aumento no nível do líquido no compartimento da solução de $NaC\ell$.

   Experimento II: as soluções apresentam a mesma pressão osmótica, pois as concentrações de partículas são iguais (0,050 mol L^{-1} em ambos os casos, já que a concentração efetiva na solução de $NaC\ell$ é igual a 0,025 mol L^{-1} · 2 = = 0,050 mol L^{-1}).

   Experimento III: concentração de partículas na solução de $CaC\ell_2$ = 0,3 mol L^{-1} (3 íons por fórmula unitária); na solução de $NaC\ell$ = 0,2 mol L^{-1} (2 íons por fórmula unitária). Maior pressão osmótica da solução de $CaC\ell_2$; aumento no nível do líquido no compartimento da solução de $CaC\ell_2$.

   Experimento IV: concentração de partículas na solução de $A\ell_2(SO_4)_3$ = 0,25 mol L^{-1} (5 íons por fórmula unitária); na de glicose = 0,20 mol L^{-1}. Maior pressão osmótica da solução de $A\ell_2(SO_4)_3$; aumento no nível do líquido no compartimento da solução de $A\ell_2(SO_4)_3$.
8. a. Se a concentração do soro fosse maior que a do sangue, as hemácias perderiam água para o meio externo.
   b. Algo muito semelhante ocorre com quem bebe água do mar, que é muito mais concentrada em sais que a água potável. O resultado seria a desidratação (as células sofreriam perda de água) e, possivelmente, a morte.
9. As variáveis como volume de água e tempo de agitação das amostras devem ser iguais em todos os testes. Adicionem-se diferentes concentrações do coagulante e alcalinizante e, ao final do experimento, a amostra que tiver parâmetros de turbidez mais próximos ao ideal é a que possui a concentração mais eficaz. Pode-se ajustar em uma segunda rodada com concentrações próximas (ex.: 90%, 95%, 105% e 110% da concentração ótima anteriormente encontrada) com o intuito de identificar concentrações ainda mais eficazes.

Capítulo 11 Cinética química e a conservação de alimentos

Neste capítulo, serão abordados aspectos da cinética química utilizando como contexto a conservação dos alimentos. Os estudantes serão instigados por meio de uma prática experimental a identificar os fatores que influenciam na conservação dos alimentos. Além disso, a cinética química é uma boa oportunidade para trabalhar habilidades de leitura e intepretação de gráficos e tabelas.

Objetivos de aprendizagem

Espera-se que, ao término deste capítulo, o estudante seja capaz de:

- desenvolver o interesse pela Ciência por meio de prática investigativa relacionada à cinética de reações químicas e conservação dos alimentos.
- conhecer aspectos energéticos, como energia cinética e de ativação, que influenciam na rapidez das transformações químicas.
- utilizar dados experimentais para prever a lei cinética e a ordem de reação.
- explicar a ocorrência de uma reação química em fase gasosa por meio da teoria das colisões.
- analisar como algumas substâncias e as condições do ambiente alteram a composição de alimentos.
- explicar a ação das enzimas sobre a cinética de uma reação química e sua ação na aplicação de processos industriais.
- interpretar graficamente a rapidez média de uma reação química.
- utilizar notação científica para expressar cálculos sobre a rapidez média de uma reação química.

Por dentro da BNCC

- **Competências gerais:** 2, 7 e 9
- **Habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias:** EM13CNT101, EM13CNT205, EM13CNT301 e EM13CNT307
- **Habilidades de outra área do conhecimento:** EM13MAT101 (Interpretar criticamente situações econômicas, sociais e fatos

relativos às Ciências da Natureza que envolvam a variação de grandezas, pela análise dos gráficos das funções representadas e das taxas de variação, com ou sem apoio de tecnologias digitais.) e EM13MAT313 (Utilizar, quando necessário, a notação científica para expressar uma medida, compreendendo as noções de algarismos significativos e algarismos duvidosos, e reconhecendo que toda medida é inevitavelmente acompanhada de erro.)

- **Temas contemporâneos transversais:** Saúde, Educação alimentar e nutricional

Sugestões didáticas

Inicie a aula perguntando aos estudantes se eles sabem explicar por que algumas frutas ficam escuras quando expostas ao ar e o que deve ser feito para retardar esse fenômeno durante o preparo de uma salada de frutas. Pergunte também como um cozinheiro deve proceder para realizar a cocção de um alimento de forma mais rápida.

Em seguida, conduza a dinâmica de leitura compartilhada, fundamental para promover o partilhar, o construir e o reconstruir sentidos e, assim, contribuir para o desenvolvimento das **competências gerais 7** e **9**, e da habilidade **EM13CNT301**.

Em seguida, realize a dinâmica de leitura compartilhada, dos tópicos "Rapidez ou taxa média de reação" e "Modelos explicativos e a influência do meio na rapidez de uma reação", tentando seguir os quatro passos descritos anteriormente.

Ao abordar a "Rapidez ou taxa média de reação", utilize os exemplos de transformações químicas para discutir a rapidez dos diferentes processos químicos. O conceito de rapidez média pode ser exemplificado com situações cotidianas, como o cozimento de alimentos, ou até mesmo com um processo industrial, em que a concentração dos materiais varia no decorrer do tempo.

Pergunte se é possível prever a rapidez com que determinada substância se decompõe com base na rapidez de formação de um dos produtos da reação. Nesse momento, explore a tabela "Concentração das substâncias envolvidas na decomposição de H_2O_2" para verificar a compreensão dos estudantes, principalmente sobre o uso das relações estequiométricas entre os participantes de uma reação e os cálculos do consumo de H_2O_2 nos diferentes tempos. Esse procedimento contribui para o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT205**. Além disso, as relações entre a variação das concentrações das espécies em função do tempo também podem ser trabalhadas com base no gráfico "Concentrações de reagentes e produtos na decomposição de H_2O_2", favorecendo o trabalho com as habilidades **EM13MAT101** e **EM13MAT313**.

A fim de estudar os fatores que afetam a rapidez das reações químicas, propomos a atividade experimental presente na seção **Na prática** em que se investiga a deterioração dos alimentos. Essa atividade está inserida no contexto dos **TCT Saúde** e **Educação alimentar e nutricional**, e favorece o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT101**, **EM13CNT301** e **EM13CNT307**, bem como a **competência geral 2**.

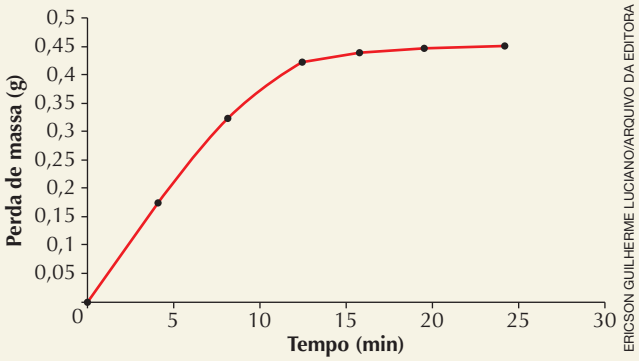
Proposta de avaliação

A avaliação da aprendizagem pode ser realizada, em caráter formativo, por meio das diferentes atividades propostas ao longo do capítulo. A seção **Atividades de fechamento**, ao final do capítulo, visa avaliar a aprendizagem dos estudantes em relação aos principais conteúdos abordados, incluindo questões de vestibular, a fim de preparar os estudantes para exames de larga escala.

Resoluções e comentários

Aplique e registre

1. a.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

b. No intervalo de 0 a 4 minutos: $\Delta t = 4$ min; $\Delta m = 0{,}16$ g.

Taxa de formação (T_f) do gás carbônico:

$$T_f = \frac{\Delta m}{\Delta t}$$

Entre os instantes 0 e 4 minutos, temos:

$$T_f = \frac{0{,}16\ \text{g}}{4\ \text{min}} = 0{,}04\ \text{g} \cdot \text{min}^{-1}$$

No intervalo de 12 a 16 min: $\Delta t = 4$ min; $\Delta m = 0{,}02$ g

Entre os instantes 12 e 16 minutos, temos:

$$T_f = \frac{0{,}02\ \text{g}}{4\ \text{min}} = 0{,}005\ \text{g} \cdot \text{min}^{-1}$$

2. Alternativa **e**. Analisando a figura, inicialmente há 24 átomos de reagente e nenhum produto. Ao se passarem 20 minutos, têm-se 14 átomos de reagente e 9 átomos de produto.

$$Taxa_m = \frac{14\ \text{átomos}}{20\ \text{min}} = 0{,}7\ \text{átomo min}^{-1}$$

3. a. Curva (III): N_2O_5; curva (II): O_2; curva (I): NO_2. A curva (III) está associada ao N_2O_5, pois no início da reação não há produto. Na reação de decomposição, tem-se:

$$2\ N_2O_5(g) \rightleftarrows 4\ NO_2(g) + 1\ O_2(g).$$

As curvas (I) e (II) estão associadas aos produtos NO_2 e O_2, respectivamente, pois o coeficiente estequiométrico de NO_2 (4) é maior que o do O_2 (1).

b. $T_{m(\text{reação})} = 1{,}5 \cdot 10^{-2}\ \text{mol L}^{-1}\ \text{min}^{-1}$

Calculando a taxa média de formação do NO_2 nos primeiros 240 s (4 min), tem-se:

$$T_{m(NO_2)} = \frac{0{,}24\ \text{mol L}^{-1} - 0\ \text{mol L}^{-1}}{4\ \text{min} - 0\ \text{min}}$$

$$T_{m(NO_2)} = 6{,}0 \cdot 10^{-2}\ \text{mol L}^{-1}\ \text{min}^{-1}$$

Como o coeficiente estequiométrico do NO_2 na equação química é igual a 4, tem-se:

$$T_{m(\text{reação})} = \frac{6{,}0 \cdot 10^{-2}\ \text{mol L}^{-1}\ \text{min}^{-1}}{4}$$

$$T_{m(\text{reação})} = 1{,}5 \cdot 10^{-2}\ \text{mol L}^{-1}\ \text{min}^{-1}$$

4. As ilustrações sugerem que, apenas no primeiro caso, a energia cinética é suficiente e a orientação das partículas é adequada para que a colisão seja efetiva e a reação ocorra. Na segunda colisão representada, a velocidade – e, consequentemente, a energia cinética – não é suficiente para que as colisões sejam efetivas, ainda que apresente orientação adequada. A terceira colisão não apresenta orientação adequada.

5. **I.** Verdadeira. A reação é exotérmica, pois a energia dos produtos é menor que a dos reagentes.

   II. Falsa. A energia de ativação é a diferença entre a energia do complexo ativado (30 kcal) e a energia dos reagentes (20 kcal). Portanto, a energia de ativação é de 10 kcal.

   III. Falsa. A energia do complexo ativado é de 30 kcal.

   IV. Verdadeira. O valor da variação de entalpia (ΔH) é a diferença entre a energia dos produtos (5 kcal) e a energia dos reagentes (20 kcal). Logo, $\Delta H = 5 \text{ kcal} - 20 \text{ kcal} = -15 \text{ kcal}$.

6. O material particulado nas minas de carvão apresenta uma superfície de contato com o ar muito maior do que os pedaços de carvão usados em churrasqueiras. Quanto maior a superfície de contato, maior a frequência de colisões, inclusive as efetivas, entre as partículas reagentes, possibilitando reações mais rápidas, como as explosões.

7. Alternativa **a**. Analisando as afirmações, temos:

   II. Incorreta. Ao cortarmos uma cebola com uma faca, a lâmina não quebra as moléculas, mas, sim, as células que contêm sulfóxidos e enzimas, que, quando entram em contato com o ar, produzem os compostos voláteis irritantes.

   III. Incorreta. A intensidade de atuação de uma enzima depende, além da concentração do substrato, da temperatura em que ela é submetida. Geralmente, altas temperaturas favorecem o funcionamento de uma enzima, porém não muito elevadas, pois podem ocasionar sua desnaturação.

8. Alternativa **a**. As curvas I e II correspondem às reações sem e com catalisador, respectivamente. O uso de catalisadores não influencia o sinal nem a magnitude do ΔH de uma reação química.

9. Alternativa **b**. Conforme os dados da tabela, ao dobrar apenas a concentração de NO, a taxa instantânea da reação quadruplica (2ª ordem em relação à NO). Já ao dobrar apenas a concentração de O_2, a taxa instantânea da reação duplica (1ª ordem em relação a O_2). Assim, a expressão da lei de ação das massas da reação é: $T_i = k[NO]^2 \cdot [O_2]$ e, ao duplicarmos as concentrações de NO e O_2, simultaneamente, a taxa instantânea da reação fica oito vezes maior (reação de 3ª ordem).

10. Alternativa **d**. Analisando os ensaios 1 e 2, observa-se que, quando é dobrada a quantidade de açúcar, a taxa da reação dobra (o tempo cai pela metade). Porém, os ensaios 2 e 3 mostram que o acréscimo de mais açúcar não altera a taxa da reação, resultado da saturação do açúcar na água. Já nos ensaios 2 e 4, ao dobrarmos a quantidade de levedura, a taxa da reação dobra (o tempo cai pela metade). Juntando todas essas análises, a expressão para a lei de ação das massas pode ser assim expressa:

    $v = k\,[\text{açúcar}]^1 \cdot [\text{levedura}]^1$

Na prática

1. Um indício visível de transformação química é a alteração de cor: a batata escurece. Como a composição de algumas espécies químicas presentes em cada porção do alimento está se alterando de alguma forma, a transformação observada pode ser relacionada à deterioração da batata: há mudança perceptível em propriedades organolépticas.

2. A exposição ao ar atmosférico faz com que o catalisador biológico (a enzima polifenoloxidase) promova uma reação que produz uma substância que escurece o alimento. No primeiro procedimento, nota-se que a porção de batata cozida e a porção de batata submersa em água à temperatura ambiente não apresentam escurecimento, diferentemente da porção crua exposta ao ar. No caso da batata cozida, o aquecimento provoca a perda da estrutura e função da enzima (desnaturação) e a reação de escurecimento catalisada por essa enzima não ocorre. No caso da batata imersa em água, a concentração de gás oxigênio disponível para a reação é menor se comparada à batata crua exposta ao ar, fazendo com que a rapidez da reação seja menor naquela porção. No segundo procedimento, observa-se a reação de decomposição da água oxigenada. O béquer com apenas água oxigenada é utilizado como branco, ou seja, recipiente em que nenhuma alteração deve ser observada. No béquer com pedaços de batata crua em temperatura ambiente, a reação é catalisada por enzimas do tecido vegetal, o que é evidenciado pela grande quantidade de bolhas de gás oxigênio desprendidas da solução. No copo com pedaços de batata cozida, a reação é mais lenta, uma vez que as enzimas foram desnaturadas pelo aquecimento.

3. Essa prática é utilizada para evitar o escurecimento do alimento antes do preparo. Isso ocorre porque a concentração de gás oxigênio na água é menor, se comparada à concentração do ar atmosférico, fazendo com que a reação de escurecimento ocorra lentamente.

4. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes desenvolvam habilidades de classificação e reflitam sobre como os processos utilizados na preparação e no armazenamento de cada alimento afetam a vida útil (ou seja, a rapidez das transformações envolvidas). Diversos processos, como defumação, salga, cozimento, condimentação, conservação em salmoura e refrigeração, podem ser citados, os quais apresentam diferentes graus de eficiência se forem aplicados isolados ou em combinação.

Atividades de fechamento

1. I – reação rápida; II – reação intermediária; III – reação lenta. Os estudantes devem perceber que essa classificação é relativa, ou seja, ela depende da comparação entre os processos ou de uma referência.

2. De acordo com a teoria das colisões, nem todas as colisões entre as moléculas de reagentes são efetivas. Ou seja, ainda que aconteça um elevado número de colisões entre O_3 e NO, muitas delas não têm geometria favorável ou energia suficiente para a formação de produtos; por isso, a reação não ocorre tão rapidamente.

3. Alternativa **a**. Sobre a rapidez das reações, podemos afirmar que reagentes com maior superfície de contato tendem a reagir mais rapidamente quando comparados àqueles de menor superfície de contato.

4. As enzimas, responsáveis pela transformação do açúcar em amido, são desnaturadas no processo de fervura, perdendo, portanto, sua função enzimática. O congelamento será responsável por evitar a deterioração do açúcar, mantendo o sabor adocicado.

5. Alternativa **d**. A quantidade de CO_2 formada será a mesma, independentemente da temperatura. Contudo, a formação desse gás será mais rápida sob temperatura de 220 °C.

6. O comprimido apresenta uma superfície de contato menor que o medicamento em pó dissolvido em água. Como a rapidez da reação química acompanha o aumento da área de contato, para que a absorção pelo organismo seja mais rápida, deve-se administrar o medicamento dissolvido em água.

7. a. $T_{m(0-3\,s)}(HC\ell) = \left(\frac{1\,mol - 0\,mol}{3\,s - 0\,s}\right) = 0{,}3\,mol\,s^{-1}$

b. Utilizando o valor de 1/3 mol L^{-1} para a rapidez da reação (sem arredondamento):

1 s ——— $\frac{1}{3}$ mol

15 s ——— x

$x = 5$ mol de $HC\ell$

c. O gráfico indica a obtenção de 2,5 mol de $HC\ell$ após 15 segundos. Essa diferença se deve à redução gradativa da taxa de formação de $HC\ell$ ao longo da reação.

8. a. Como a lei cinética para essa reação não depende da concentração de A, alterações dessa concentração não implicam variação da rapidez da reação.

b. Pela lei cinética, é possível concluir que a rapidez da reação é proporcional ao quadrado da concentração de B. Logo, se a concentração de B duplica, a rapidez da reação quadruplica.

c. A reação é de segunda ordem em relação a B, como pode ser observado na expressão da lei cinética, e de ordem zero em relação a A, uma vez que essa espécie química não está presente na expressão da lei cinética. A reação é, portanto, de segunda ordem.

d. O mecanismo 2, já que a etapa lenta envolve a espécie B. O coeficiente dessa reação elementar é igual à ordem de reação de B na lei cinética apresentada.

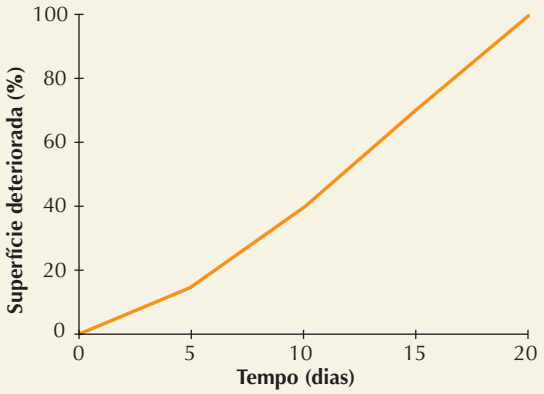
9. a. I – baixa; II – intermediária; III – elevada. Em temperaturas baixas, a velocidade média das moléculas é menor, e a maior parte delas se concentra em uma faixa menor de velocidade. À medida que a temperatura aumenta, a velocidade das moléculas também aumenta e sua distribuição se torna mais homogênea.

b. O gráfico indica que a diminuição da massa molecular está associada ao aumento da velocidade média. Para que a energia cinética permaneça constante, a diminuição da massa deve acompanhar um aumento proporcional da velocidade média, de acordo com a igualdade a seguir.

$$E_c = \frac{MM\downarrow\, v_2\uparrow}{2}$$

c. De acordo com a ordem decrescente de massa molecular, podemos associar o gás oxigênio ($MM = 32$ u) à curva vermelha, o gás nitrogênio ($MM = 28$ u) à curva azul e o gás hidrogênio ($MM = 2$ u) à curva verde.

10. a.



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

b. A curva do gráfico mostra que a taxa de proliferação de fungos é menor no início da observação, o que é indicado pelo menor ângulo de inclinação da reta (ou coeficiente angular), e vai gradativamente aumentando ao longo do tempo. O cálculo da taxa média (T_m) em cada intervalo também permite chegar à mesma conclusão:

$$T_{m\,(0-1\,dia)} = \frac{\Delta\,\%fungos}{\Delta t} = \frac{2\% - 0\%}{1\,dia - 0\,dia} = 2\%/dia$$

$$T_{m\,(0-5\,dias)} = \frac{\Delta\,\%fungos}{\Delta t} = \frac{15\% - 0\%}{15\,dias - 0\,dia} = 3\%/dia$$

$$T_{m\,(0-10\,dias)} = \frac{\Delta\,\%fungos}{\Delta t} = \frac{40\% - 0\%}{10\,dias - 0\,dia} = 4\%/dia$$

$$T_{m\,(0-20\,dias)} = \frac{\Delta\,\%fungos}{\Delta t} = \frac{100\% - 0\%}{20\,dias - 0\,dia} = 5\%/dia$$

c. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes percebam que as reações químicas associadas à deterioração por crescimento microbiano se processam de forma gradativa (embora em diferentes taxas) e, portanto, a hipótese de uma deterioração repentina após a data de validade não é plausível.

11. a. Exotérmica, já que a energia dos produtos é menor que a dos reagentes, o que indica liberação de energia no processo.

b. A etapa II, por causa de sua maior energia de ativação.

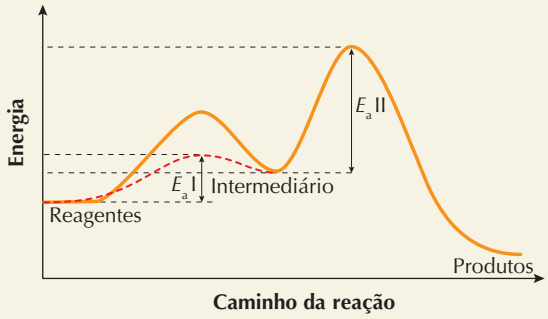
c. Etapa I: R → I

Etapa II: I → P

Equação global: R → P

d. É mais provável que os reagentes sejam regenerados, pois a energia de ativação da reação I → R é menor que a da reação I → P.

e.



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

f. Não, pois o catalisador não altera a energia de ativação da etapa II, que, por ser maior, continua a determinar a rapidez da reação.

Capítulo 12 Equilíbrio químico e a produção de fertilizantes nitrogenados

Este capítulo tem como foco a produção de fertilizantes nitrogenados, visando contextualizar o estudo de equilíbrio químico. Para facilitar seu desenvolvimento em sala de aula, o assunto será dividido em dois momentos: o primeiro refere-se à construção do conceito de estado de equilíbrio químico e a seus aspectos quantitativos, e o segundo momento envolve uma abordagem de alguns aspectos de História e Filosofia da Ciência para discutir as condições que afetam a composição de uma mistura em equilíbrio, bem como algumas problematizações sobre as questões de gênero na Ciência.

Objetivos de aprendizagem

Espera-se que, ao término deste capítulo, o estudante seja capaz de:

- compreender as características de um sistema em equilíbrio e representá-la por meio de equações químicas.

- reconhecer a Ciência como um processo de empreendimento longo e coletivo e perceber essas características na história do processo Haber-Bosch.
- interpretar e realizar previsões de atividades experimentais que envolvem o equilíbrio químico e reconhecer a limitação do princípio de Le Chatelier.
- interpretar a constante de equilíbrio químico.
- reconhecer os fatores que afetam a composição de um sistema em equilíbrio e examinar a importância dessas alterações na síntese industrial da amônia.
- interpretar gráficos das diversas situações e condições de equilíbrio químico.
- analisar e avaliar os impasses ético-políticos decorrentes de transformações científicas e tecnológicas no mundo, reconhecendo seus desdobramentos, sobretudo no episódio histórico da síntese da amônia.

Por dentro da BNCC

- **Competências gerais:** 1, 5, 6, 7 e 9
- **Habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias:** EM13CNT201, EM13CNT205 e EM13CNT301
- **Tema contemporâneo transversal:** Ciência e tecnologia

Sugestões didáticas

Oriente os estudantes a se organizarem em grupos para fazer leitura e resumo dos tópicos "Representação de processos irreversíveis, reversíveis e em equilíbrio" e "Aspectos quantitativos das reações reversíveis em sistemas homogêneos". Em seguida, cada integrante deve compartilhar com o grupo o que compreendeu e as dúvidas que surgiram.

Solicite aos estudantes que discutam sobre os questionamentos a seguir e registrem, para cada pergunta, uma resposta que represente a opinião do grupo: "O que significa dizer que uma reação é reversível?"; "O que significa dizer que uma reação química atingiu o estado de equilíbrio?"; "A afirmação de que no estado de equilíbrio há igualdade de concentração de reagentes e produtos está correta? Por quê?"; "Quais são as informações que podemos obter da constante de equilíbrio?"; "Qual é a relação entre rendimento de uma reação e o valor de K_c?". Essa estratégia favorece o desenvolvimento das **competências gerais 7** e **9**.

Quanto à constante de equilíbrio, verifique se os estudantes conseguiram perceber que o valor dela nos informa a extensão com que uma transformação ocorre, pois se trata de uma relação entre concentração de produtos e concentração de reagentes. Alerte os estudantes sobre a dimensionalidade das constantes. Ao trabalhar a interpretação das constantes de equilíbrio, promove-se o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT301**.

Para introduzir os fatores que alteram a composição de uma mistura em equilíbrio e mobilizar a **competência geral 5**, peça aos estudantes que leiam o tópico "Histórico da síntese da amônia" do texto "A síntese da amônia: alguns aspectos históricos", disponível no boxe **Fique por dentro**. Por meio dessa leitura, os estudantes podem compreender a Ciência como um processo de empreendimento longo e coletivo, favorecendo o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT201** e da **competência geral 1**.

Auxilie os estudantes na reflexão sobre as limitações do princípio de Le Chatelier, contribuindo para o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT205** e **EM13CNT301**. Explique o efeito do catalisador ressaltando que ele não altera as concentrações no equilíbrio químico.

Proposta de avaliação

A avaliação da aprendizagem pode ser realizada, em caráter formativo, por meio das diferentes atividades propostas ao longo do capítulo. A seção **Atividades de fechamento**, ao final do capítulo, visa avaliar a aprendizagem dos estudantes em relação aos principais conteúdos abordados, incluindo questões de vestibular, a fim de preparar os estudantes para exames de larga escala.

Resoluções e comentários

Aplique e registre

1. a. $H_2(g) + C\ell_2(g) \rightleftharpoons 2\ HC\ell(g)$

b. Reação direta (⇀): $H_2(g)$ e $C\ell_2(g)$ são reagentes; $HC\ell(g)$ é produto.

Reação inversa (↼): $HC\ell(g)$ é reagente; $H_2(g)$ e $C\ell_2(g)$ são produtos

c. A figura IV, pois, no equilíbrio, coexistem reagentes (H_2 e $C\ell_2$) e produto ($HC\ell$).

2. O equilíbrio A apresenta um elevado valor da constante de equilíbrio, o que denota predominância do(s) produto(s) (já que o maior numerador gera o maior quociente); assim, ele se relaciona com o gráfico 3 em que a barra azul (que representa os produtos) é maior. O equilíbrio B apresenta um pequeno valor da constante de equilíbrio, o que denota predominância do(s) reagente(s) (já que o maior denominador gera o menor quociente); assim, ele se relaciona com o gráfico 1 em que a barra laranja (que representa os reagentes) é maior.

3. Alternativa **a**. Quanto maior for o valor de K_c, maior será a quantidade de produtos em relação aos reagentes quando a reação atinge o equilíbrio; portanto, o rendimento da reação é maior.

4. A partir das informações fornecidas no enunciado, temos:

Reação	$C_4H_8O_2$ +	H_2O ⇌	C_2H_5OH +	$C_2H_4O_2$
Inicial (mol L^{-1})	2	2	0	0
Variação (mol L^{-1})	?	?	?	?
Equilíbrio (mol L^{-1})	0,68	?	?	?

Obtemos a quantidade de $C_4H_8O_2$ que reagiu subtraindo a quantidade inicial da quantidade que ainda resta no meio racional. Como a proporção entre todas as espécies é de 1:1, as quantidades que reagem e que se formam serão iguais. Assim, temos:

Reação	$C_4H_8O_2$ +	H_2O ⇌	C_2H_5OH +	$C_2H_4O_2$
Inicial (mol L^{-1})	2	2	0	0
Variação (mol L^{-1})	1,32	1,32	1,32	1,32
Equilíbrio (mol L^{-1})	0,68	0,68	1,32	1,32

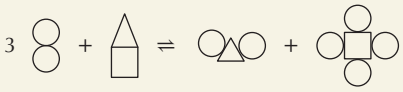
$$K_c = \frac{[C_2H_5OH] \cdot [C_2H_4O_2]}{[C_4H_8O_2] \cdot [H_2O]} = \frac{[1{,}32M] \cdot [1{,}32M]}{[0{,}68M] \cdot [0{,}68M]} \therefore K_c \simeq 3{,}77$$

5. a. A reação de síntese do N_2O_4 (incolor) por meio do NO_2 (castanho) é exotérmica, pois o aumento da temperatura favorece a reação inversa (endotérmica), ou seja, a formação de NO_2 por meio de N_2O_4 ($NO_2 \leftarrow N_2O_4$). É possível deduzir isso com base na interpretação da imagem: com o aquecimento, o frasco fica mais castanho, o que indica que há mais NO_2 no recipiente.

b. Nesse caso, o valor da constante de equilíbrio (K_c) diminui com o aumento da temperatura, pois nessa condição consome-se mais N_2O_4 e forma-se mais NO_2, causando diminuição na razão entre as concentrações desses dois gases.

6. Exotérmica. Fixando-se uma determinada pressão, nota-se que a constante de equilíbrio (K_c) da reação diminui com o aumento da temperatura. Como o aumento da temperatura favorece processos endotérmicos, conclui-se que a síntese da amônia é exotérmica.

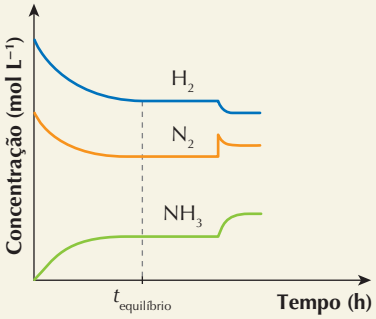
7. **a.**



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

b. Pelo princípio de Le Chatelier, nesse sistema reacional o aumento da pressão deslocará o equilíbrio no sentido da formação de uma maior quantidade de produtos, pois a observação das duas figuras mostra que a evolução da reação ocasiona uma redução do número total de moléculas gasosas presentes no sistema (menor volume).

8.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

A adição de N_2 faz com que o equilíbrio se desloque no sentido da reação direta, de modo a consumir mais reagentes e formar mais produto, até chegar a uma nova situação de equilíbrio.

Atividades de fechamento

1. Alternativa **b**. As quatro afirmativas devem ser avaliadas contrapondo a definição de equilíbrio químico estudada à ideia de equilíbrio expressa pela charge – fundamentada na proporção 50% : 50%. Desta forma, a alternativa **b** é a correta, pois o equilíbrio químico caracteriza-se macroscopicamente pela não alteração nas concentrações (ou pressões parciais) das substâncias componentes do sistema reacional.

2. 02 + 08 = 10

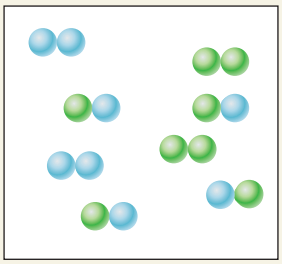
01. Incorreta. A reação é exotérmica ($\Delta H < 0$) no sentido direto, pois a formação do produto (indicada pela cor rosa) é favorecida pelo abaixamento da temperatura do sistema reacional.

04. Incorreta. A adição de reagentes, embora altere a composição do sistema reacional, não altera o valor da constante de equilíbrio, que é uma função da temperatura.

16. Incorreta. A adição de um catalisador não altera o equilíbrio químico, pois aumenta a rapidez tanto da reação direta quanto da inversa.

3. **a.** A ilustração B, pois representa a coexistência de três substâncias diferentes.

b. A ilustração deve mostrar a coexistência de três substâncias, com uma proporção maior de produto em relação à ilustração B, como no exemplo a seguir.

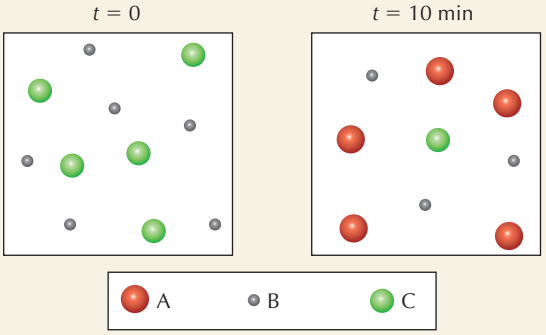


ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

4. **a.** As concentrações de A, B e C variaram respectivamente 0,5 mol L^{-1}, 0,3 mol L^{-1} e 0,4 mol L^{-1}. Sabendo que essas variações são proporcionais aos coeficientes estequiométricos, basta transformá-las em números inteiros para obter a equação química balanceada:

3 B + 4 C ⇌ 5 A

b. Espera-se que os estudantes produzam ilustrações em que a proporção entre as concentrações nos dois casos seja representada, como o exemplo a seguir.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

c. A reação apresenta bom rendimento, pois o gráfico demonstra que no equilíbrio a concentração de A (produto) é maior que as concentrações de B e C (reagentes).

5. **a.** O primeiro passo é obter o valor médio da concentração na situação de equilíbrio:

$$[N_2O_5] = \frac{0{,}130 + 0{,}131 + 0{,}129 + 0{,}130}{4} = 0{,}130 \text{ mol L}^{-1}$$

Para obter essa medida utilizando uma planilha de cálculo eletrônica, digite os dados (cada um em uma célula sequencialmente), clique em uma célula vazia, localize o menu de funções – algumas vezes simbolizado pela letra grega Σ –, procure e acione a função "média", indique as células (letra e número) que contêm os valores cuja média deve ser calculada e aperte a tecla "enter".

A proporção entre reagentes e produtos obtida dos coeficientes estequiométricos é 2 : 4 : 1. Assim, pela variação das concentrações de N_2O_5 no início da reação e no equilíbrio, é possível calcular a quantidade de NO_2 e de O_2 formada.

Reação	$2\,N_2O_5(g) \rightleftharpoons 4\,N_2(g) + O_2(g)$		
Inicial (mol L^{-1})	1,000	0	0
Variação (mol L^{-1})	1,000 – 0,130 = = 0,870	$\left(\frac{4 \cdot 0{,}870}{2}\right)$	$\left(\frac{1 \cdot 0{,}870}{2}\right)$
Equilíbrio (mol L^{-1})	0,130	1,740	0,435

$$K_c = \frac{[NO_2]^4[O_2]}{[N_2O_5]^2} \Rightarrow K_c = \frac{(1{,}740)^4 \cdot (0{,}435)}{(0{,}130)^2}$$

$$\therefore K_c \simeq 236$$

b. O primeiro passo é escrever a expressão da constante de equilíbrio da reação inversa comparando-a, em seguida, com a expressão do K_c. Neste momento, espera-se que os estudantes percebam que o valor da constante de equilíbrio da reação inversa é o recíproco da constante de equilíbrio da reação direta.

$$K_c = \frac{[N_2O_5]^2}{[NO_2]^4[O_2]} \Rightarrow K_{c'} = \frac{1}{K_c} \Rightarrow K_{c'} = \frac{1}{236}$$

$$\therefore K_{c'} \simeq 4 \cdot 10^{-3}$$

6. Trata-se de um equilíbrio em que todas as substâncias estão no estado gasoso. Como, na expressão da constante de equilíbrio, os expoentes nos reagentes e produtos são os mesmos, ou seja, a soma dos coeficientes estequiométricos dos reagentes e dos produtos é igual, o aumento da pressão total não causa perturbações no sistema que possam favorecer a reação direta ou a reação inversa.

7. **a.** Quanto maior a constante de equilíbrio, mais favorecida é a formação de produtos, e consequentemente maior será a eficiência com que se removerá o íon, nesse caso, o Fe^{3+}.

b. $CaEDTA^{2-} + Fe^{3+} \rightleftharpoons FeEDTA^{-} + Ca^{2+}$

8. A elevação da temperatura levou ao aumento da concentração de A, ou seja, a elevação da temperatura favoreceu a reação inversa. Assim, a reação química de conversão de A em B é um processo exotérmico. As reações exotérmicas são favorecidas quando calor é retirado do sistema.

$$2\,A \rightleftharpoons B \qquad \Delta < 0$$

Em foco

1. Resposta pessoal. Durante a elaboração dos textos, oriente os estudantes a refletirem a respeito de como a ocorrência dos eventos determinou o curso da história e a relação com o aumento da produtividade de alimentos, inserido no contexto do **TCT Ciência e tecnologia**, bem como do **ODS 2**. Peça que eles atentem aos eventos, ao motivo da ocorrência e aos desdobramentos.

2. Haber trabalhou para o seu país durante a Primeira Guerra Mundial chegando a ganhar o Prêmio Nobel de Química. No entanto, posteriormente foi perseguido pelo regime nazista por ser judeu. O regime nazista considerava os judeus e minorias inimigos da nação, perseguindo-os e assassinando-os.

3. O gráfico revela que o aumento da temperatura diminui o rendimento da reação (produção de amônia). Logo, deve-se realizar a síntese na menor temperatura possível. No entanto, os gases nitrogênio e hidrogênio reagem muito lentamente em baixas temperaturas. Assim, é necessário trabalhar com temperaturas entre 450 °C e 500 °C para garantir que a síntese da amônia ocorra em um tempo aceitável e com rendimento adequado, do ponto de vista industrial.

Reflita sobre seu aprendizado!

Solicite aos estudantes que utilizem as perguntas dessa seção para autoavaliar suas compreensões sobre as principais ideias discutidas nesta unidade. Proponha-lhes que retomem as respostas da seção **Pense nisso!** que elaboraram no início do estudo dessa unidade e as reescrevam com base nos seus conhecimentos atuais sobre os temas estudados. A autoavaliação do processo de aprendizagem, a mobilização das **competências gerais 1** e **6**. Em conjunto com a autoavaliação dos estudantes, utilize as elaborações deles ao longo de todo o trabalho como forma de avaliar a aprendizagem continuamente, identificando e dirimindo as lacunas de compreensão.

Educação midiática

Essa seção tem como objetivos de aprendizagem:

- comparar diferentes abordagens e intencionalidades em textos noticiosos.
- explorar diferentes estratégias discursivas na produção da notícia e seus efeitos na audiência.
- refletir sobre a importância de recorrer a diferentes fontes de informação para compreender a realidade em sua complexidade.
- criar informação com base em múltiplas fontes de informação e perspectivas.

A partir das leituras dos dois trechos apresentados no livro do estudante pode-se ter uma ideia de que é possível ter dimensões distintas da realidade, conforme a escolha do autor e sua abordagem. Na primeira notícia, há uma perspectiva mais geral e quantitativa sobre a questão, enquanto na segunda, um olhar localizado a um território específico, com foco na relação dos moradores com a dificuldade cotidiana de conseguir água potável.

As respostas esperadas para as atividades propostas na seção **Ampliação de repertório** são:

1. Na primeira notícia, o foco é o desperdício de água potável no Brasil. O problema descrito é a falha na distribuição de água, com alto índice de perdas, com impacto no prejuízo ambiental e econômico, além da falta de água para milhões de brasileiros. Na segunda notícia, o foco é a falta de acesso à água potável em comunidades ribeirinhas. O problema descrito é a escassez de água potável em consequência da seca e da poluição, o que resulta na dificuldade no acesso à água potável para consumo e higiene, afetando a saúde e a qualidade de vida das comunidades.

2. I – O conteúdo apresenta números sobre o desperdício de água.

I – Para atribuir significado ao número, a notícia afirma que a quantidade de água desperdiçada seria suficiente para abastecer o estado do Rio Grande do Sul.

II – O conteúdo apresenta depoimento de moradores, a fim de demonstrar como a escassez de água afeta a vida cotidiana.

I – O conteúdo é mais genérico, isto é, apresenta um cenário mais amplo, com base em números.

II – O conteúdo é mais específico, uma vez que discute a escassez de água em um território determinado e restrito: uma comunidade ribeirinha de Porto Velho (RO).

I – Os dados numéricos apresentados na matéria ajudam a entender, em linhas gerais, os impactos negativos relacionados ao desperdício de água.

II – Os depoimentos das fontes destacam os impactos da falta de água na vida das pessoas para situações rotineiras.

3. As duas matérias se complementam porque uma dá um panorama nacional acerca do desperdício de água com base em números, e a outra demonstra como a má gestão em torno de recursos hídricos pode levar à escassez desse recurso.

Ter acesso a essas duas abordagens é importante para perceber as contradições que envolvem o tema: não é porque há desperdício que há pessoas que não sofrem com a escassez de água. Esse tipo de interpretação da realidade só

é possível quando se acessa diferentes informações sobre o mesmo tema, pois dificilmente o mesmo conteúdo consegue esgotar todas as abordagens possíveis de um assunto da atualidade.

No tópico **Produção de conteúdo** é sugerida a produção de um *podcast* com o tema "Água aqui e pelo mundo: desafios e soluções para um futuro sustentável". Espera-se que os estudantes sejam capazes de expressar nesse trabalho uma opinião embasada na exploração e análise dos múltiplos vieses envolvidos no contexto.

A **Autoavaliação**, ao final da seção, apresenta alguns critérios para a autoavaliação dos estudantes. Caso considere pertinente, monte uma tabela de rubricas considerando os níveis de desempenho: avançado, adequado, satisfatório e insuficiente para cada um dos critérios sugeridos. Sugerimos a referência suplementar: MENDONÇA, A. P.; COELHO, I. M. W. da S. Rubricas e suas contribuições para a avaliação de desempenho de estudantes. *In*: SOUZA, A. C. R. de *et al*. **Formação de professores e estratégias de ensino**: perspectivas teórico-práticas. Curitiba: Appris, 2018. p. 109-125.

UNIDADE 4 TRANSFORMAÇÕES E MOVIMENTO

Diversas atividades do nosso cotidiano ainda dependem da energia obtida de combustíveis fósseis, em especial derivados do petróleo, carvão mineral e gás natural. Embora essencial para o progresso e desenvolvimento de uma nação, o uso dessas fontes não renováveis intensifica a poluição, principalmente a atmosférica. A emissão de gases que agravam o efeito estufa e acarretam a chuva ácida é um exemplo da poluição causada pela queima desses combustíveis. Desse modo, conhecer a linguagem química, as reações e as propriedades (físicas e químicas) das substâncias que compõem esses materiais ajuda a compreender fenômenos que vão desde sua formação, obtenção e aplicações até as questões socioambientais, econômicas e políticas relativas à dependência mundial desses combustíveis e a necessidade de alternativas energéticas.

1. Espera-se que os estudantes relatem que o processo de queima da lenha gera gases que se dissipam no meio. Assim, para se obter a mesma massa do início, seria necessário realizar a queima em um sistema fechado, de modo a reter esses gases.
2. Espera-se que os estudantes indiquem os combustíveis fósseis como resultantes do processo de decomposição de matéria orgânica e, portanto, ricos em átomos de carbono, entre outras impurezas, como os compostos de enxofre. Assim, a combustão completa forma gás carbônico, um dos causadores do processo de intensificação do efeito estufa. Além disso, ocorre a formação de compostos de enxofre (principalmente SO_2) e de nitrogênio (denominados NOx).
3. Espera-se que os estudantes descrevam o *doping* como uma forma artificial de alterar o desempenho pelo uso de substâncias ilegais, seja para aumentar seu rendimento, sua força e seu estado de alerta, seja para estimular a perda de peso, fator especialmente relevante em esportes em que as categorias são organizadas pelo peso dos atletas.
4. Espera-se que os estudantes classifiquem os plásticos como um subconjunto de polímeros, mas mencionem que nem todos os polímeros são plásticos. Espera-se que os estudantes mencionem que os polímeros são estudados dentro da Química Orgânica.

Capítulo 13 Hidrocarbonetos

Neste capítulo são abordados conceitos relacionados aos hidrocarbonetos em um contexto de extração e refino de petróleo. Serão apresentadas as diferentes representações possíveis para moléculas e a limitação, neste caso, de utilizar somente a fórmula molecular. Ao longo das sugestões, será indicado o uso de um *software* para apoiar no processo de ensino e aprendizagem, além de dinâmicas entre pares que apoiam a trocam de experiências.

Objetivos de aprendizagem

Espera-se que, ao término deste capítulo, o estudante seja capaz de:

- compreender o conceito de hidrocarbonetos.
- reconhecer hidrocarbonetos.
- nomear hidrocarbonetos.
- utilizar diferentes formas de representação de hidrocarbonetos.
- reconhecer a origem e o processo de refinamento do petróleo.
- relacionar estrutura do composto orgânico com suas propriedades físico-químicas.
- inferir diferenças nas propriedades físico-químicas de substâncias orgânicas com base em sua estrutura molecular.

Por dentro da BNCC

- **Competências gerais:** 4 e 7
- **Habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias:** EM13CNT106, EM13CNT203, EM13CNT306 e EM13CNT309
- **Habilidade de outra área do conhecimento:** EM13LGG403 (Fazer uso do inglês como língua de comunicação global, levando em conta a multiplicidade e variedade de usos, usuários e funções dessa língua no mundo contemporâneo.)
- **Temas contemporâneos transversais:** Saúde; Ciência e Tecnologia

Sugestões didáticas

Peça aos estudantes que realizem a leitura do capítulo em horário extraclasse, anotando as ideias principais de cada tópico e realizando a leitura guiada, ou seja, buscando informações que lhes permitam responder às seguintes perguntas norteadoras e registrar os dados solicitados: "Como é possível identificar se uma substância é um hidrocarboneto?", "Monte um glossário com pelo menos 5 novos termos/conceitos abordados no texto.", "Por que é possível obter diferentes produtos do petróleo?", "Registre em seu caderno pelo menos 3 estruturas de hidrocarbonetos insaturados e/ou com ramificações, lembre-se de indicar o nome das substâncias". Em sala de aula, peça aos estudantes que sentem em duplas, formadas dos grupos inicialmente propostos, e apresentem as suas respostas uns aos outros. Feito isso, indique de forma aleatória diferentes estudantes para apresentarem a resposta da sua dupla para toda a turma, favorecendo a **competências gerais 4** e **7**.

Proponha aos estudantes que avaliem as consequências do uso dos combustíveis fósseis para a vida, com base no contexto histórico e em discussões políticas, econômicas e socioambientais, favorecendo o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT106** e **EM13CNT309**. Para facilitar o entendimento desse tema, realize uma atividade complementar que possibilite o uso de *softwares,* como o ChemSketch® Freeware, um *software* gratuito que permite a representação de qualquer substância. No entanto, apesar de completo, ele não apresenta versões em português. Isso dificulta, mas não impede seu uso pelos estudantes, e ainda ajuda a estimular a aprendizagem da língua inglesa, promovendo o desenvolvimento da habilidade **EM13LGG403**. Caso queira utilizá-lo, mostre um passo a passo de como representar as substâncias e auxilie os estudantes nas traduções. Se tiver dificuldades em utilizá-lo, você pode ler a referência suplementar: SANTOS, A. L. **Guia pratico de utilização do *chemsketch***. 2016. Produto educacional (Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade Federal do Acre, Rio Brranco, 2016. Disponível em: http://www2.ufac.br/mpecim/menu/produtos-educacionais/2014/produto-educacional-alcides-loureiro-santos.pdf. Acesso em: 26 set. 2024.

Com esse *software,* você pode guiar os estudantes na comparação das classificações de hidrocarbonetos quanto a saturado/insaturado, cadeia aberta/fechada, cadeia ramificada/não ramificada, alifático/aromático. Além dessas comparações, é interessante que representem os hidrocarbonetos usando as fórmulas molecular, de Lewis ou estrutural plana, além da representação estereoquímica, pelo modelo de esferas e bastões ou de espaços preenchidos. Se julgar conveniente, apresente, neste momento, exemplos de outros compostos aromáticos, como o naftaleno e o antraceno. Esclareça que o termo "aromático" não significa que esses compostos têm necessariamente odor.

Em compostos monocíclicos planares, uma estrutura é tida como aromática se, e somente se, apresentar $4n + 2$ elétrons associados aos orbitais π, como é enunciado pelo método de Hückel.

Em relação às propriedades dos hidrocarbonetos, enfatize que podemos separá-los quando misturados usando processos que se fundamentam nas diferentes propriedades que eles apresentam, como: polaridade, temperatura de ebulição, densidade e solubilidade. Por exemplo, conhecer a temperatura de ebulição dos hidrocarbonetos presentes no petróleo possibilita separá-los por meio da destilação fracionada, como mostrado no tópico "Refino e craqueamento do petróleo". Ao abordar o conceito de forças intermoleculares, fique atento às concepções alternativas que igualam esse conceito ao de ligações químicas, como relatado na referência suplementar: MIRANDA, A. C. G.; BRAIBANTE, M. E. F.; PAZINATO, M. S. Concepções alternativas sobre forças intermoleculares: um estudo a partir das publicações da área de ensino. **Enseñanza de las ciencias**, p. 1.807-1.812, 2017. Disponível em: https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/337430/428271. Acesso em: 20 out. 2024.

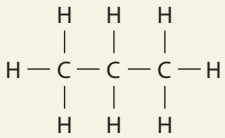
Proposta de avaliação

A avaliação da aprendizagem pode ser realizada, em caráter formativo, por meio das diferentes atividades propostas ao longo do capítulo. A seção **Atividades de fechamento**, ao final do capítulo, visa avaliar a aprendizagem dos estudantes em relação aos principais conteúdos abordados, incluindo questões de vestibular, a fim de preparar os estudantes para exames de larga escala.

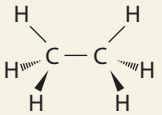
Resoluções e comentários

Aplique e registre

1. A fórmula estrutural plana do propano (a) é:



A fórmula estrutural estereoquímica do etano (b) é:



2. Sim, pois apresenta estrutura cíclica plana em que átomos de carbono estão ligados entre si por ligações simples e duplas alternadas. Essa atividade está inserida no **TCT Saúde** e contribui para o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT306**.

3. As frações provenientes da destilação fracionada do petróleo não são substâncias puras, mas novas misturas de hidrocarbonetos com temperaturas de ebulição próximas. A escrita correta da frase seria: "A destilação fracionada separa as frações do petróleo com base em suas diferentes temperaturas de ebulição. Cada uma dessas frações terá uma finalidade diferente, mas boa parte é de alguma maneira utilizada como combustível". Essa atividade está inserida no contexto do **TCT Ciência e tecnologia** e contribui para o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT309**.

4. O nome sistemático a ser indicado é 3,7,11-trimetildodeca-1,3,6,10-tetraeno.

5. Alternativa **a**. A fase constituída por hidrocarbonetos voláteis é separada primeiro (gases) e é obtida no topo da coluna de fracionamento. A gasolina é uma fase intermediária (líquida), da mesma forma que o óleo diesel, porém este é obtido depois da gasolina por apresentar maior temperatura de ebulição. Por último, é obtido o asfalto (sólido), na base da coluna.

6. Alternativa **e**. Entre as moléculas de hidrocarbonetos, como o butano, ocorrem ligações do tipo dispersões de London, de baixa intensidade. Já entre as moléculas de butanona ocorrem forças de Keesom, de média intensidade. Tanto entre as moléculas de butan-1-ol como entre as moléculas de ácido butanoico ocorrem ligações de hidrogênio, mas nessa última também ocorrem as forças de Keesom. Logo, a ordem crescente fica:

butano < butanona < butan-1-ol < ácido butanoico

7. Alternativa **a**. Como a água e a acetona formaram uma mistura homogênea, em razão da completa solubilidade entre as substâncias e sabendo que a água é polar (momento dipolar resultante diferente de zero), pode-se inferir que a acetona, nas condições propostas, também é polar. Já com relação ao benzeno, por conta da formação de duas fases, pode-se inferir que ele é apolar.

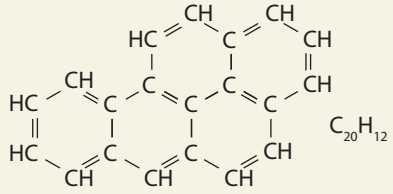
8. Dos compostos citados, apenas a acetamida realiza ligações de hidrogênio, logo, ela tenderá a possuir maior temperatura de ebulição. Quando se analisam os valores experimentais de temperatura de ebulição, observa-se um alto valor para acetamida quando comparado com os outros dois compostos.

Composto	Temperatura de ebulição (1 atm)
Acetona	56,05 °C
Propanal	48 °C
Acetamida	222 °C

Fonte: LIDE, D. R. **CRC Handbook of Chemistry and Physics**. 90th. ed. Boca Raton: CRC Press, 2010.

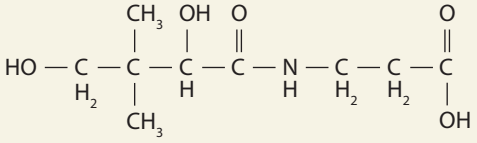
Atividades de fechamento

1. Alternativa **d**. As forças intermoleculares (forças dispersivas de London) são mais intensas. Quanto maior o tamanho da cadeia carbônica, maior a área de interação entre as moléculas e, consequentemente, maior a temperatura para a obtenção dessa fração.
2. Alternativa **d**. A afirmação II é falsa, pois o pentano, por ter maior número de carbonos, tem também maior temperatura de ebulição que o propano.
3. Alternativa **d**. Essa atividade contribui para o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT203**.

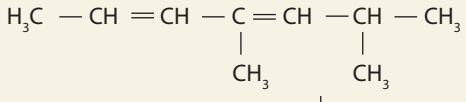


$$\text{Razão} = \frac{\text{número de átomos de C}}{\text{número de átomos de H}} = \frac{20}{12} = \frac{5}{3}$$

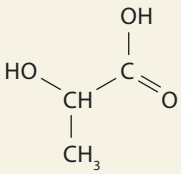
4. De acordo com a tabela dada no enunciado, o átomo de carbono pode formar quatro ligações, o átomo de hidrogênio forma uma ligação, o átomo de nitrogênio forma três ligações e o átomo de oxigênio forma duas ligações. Portanto, completam a estrutura as ligações indicadas a seguir.



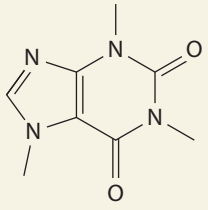
5. **a.** $H_2C=CH-CH_2-CH_3$
   b. $H_3C-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$
   c. $H_3C-C\equiv C-CH_2-CH_2-CH_3$
   d.



6.

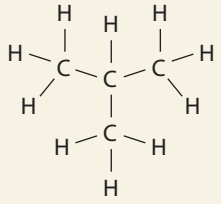
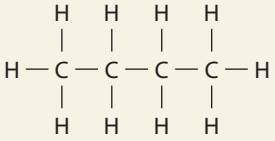


Ácido lático



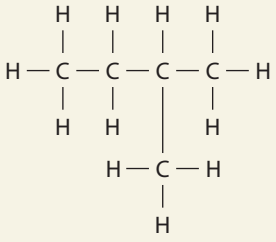
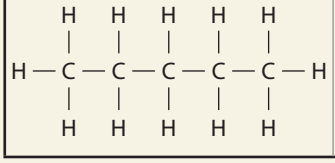
Cafeína

7. A fórmula molecular da zeaxantina é $C_{40}H_{56}O_2$, enquanto a da astaxantina é $C_{40}H_{52}O_4$. Portanto, essas duas moléculas diferem apenas do número de átomos de hidrogênio e oxigênio, sendo que a zeaxantina apresenta 4 átomos de hidrogênio a mais que a astaxantina e dois átomos de oxigênio a menos.
8. **a.**

Fórmula estrutural	Nome	Comparação entre temperatura de ebulição
	metil--propano	Menor
	Butano	Maior

O butano apresenta maior temperatura de ebulição, pois haverá maior superfície de contato para interação intermolecular, aumentando, assim, a necessidade de fornecimento de energia para superá-las. O metil-propano apresentará uma menor cadeia principal e certo espaçamento entre as moléculas em razão da presença do grupo metil, fazendo que a interação molecular seja menor, quando comparada ao butano.

b.

Fórmula estrutural	Nome	Comparação entre temperatura de ebulição
	2-metil--butano	Menor
	Pentano	Maior

O pentano apresenta maior temperatura de ebulição, pois haverá maior superfície de contato para interação intermolecular, aumentando, assim, a necessidade de fornecimento de energia para superá-las. O 2-metil-butano apresentará uma menor cadeia principal e certo espaçamento entre as moléculas em razão da presença do grupo metil, fazendo que a interação molecular seja menor, quando comparada ao pentano.

9. **a.** Processo de separação de misturas: destilação fracionada. Propriedade específica: temperatura de ebulição.
   b. Quanto menor o número de átomos de carbono, mais volátil será o hidrocarboneto. Assim:
   1 – gás liquefeito do petróleo (C_3 a C_4)
   2 – gasolina (C_5 a C_{12})

3 – querosene (C_{12} a C_{16})
4 – óleo diesel (C_{12} a C_{20})
5 – óleo combustível (C_{20} ou mais)

Capítulo 14 Combustíveis fósseis e chuva ácida

Este capítulo aborda as diferentes fontes de energias em nível global e local, dando ênfase à temática das mudanças climáticas com foco na chuva ácida. Abordam-se, também, aspectos relacionados ao desenvolvimento tecnológico e à conservação ambiental.

Objetivos de aprendizagem

Espera-se que, ao término deste capítulo, o estudante seja capaz de:

- relacionar os gases emitidos pela queima de combustíveis fósseis ao agravamento de fenômenos como o efeito estufa e a chuva ácida.
- avaliar as consequências desses fenômenos por meio de discussões políticas, econômicas e socioambientais.
- justificar a utilização de combustíveis fósseis atualmente com base em contextos histórico-econômicos contemporâneos e da época em que começaram a ser utilizados.
- compreender o conceito de óxidos.
- reconhecer óxidos com base em suas formulações.
- descrever formas de medição de acidez ou basicidade das substâncias.

Por dentro da BNCC

- **Competência geral:** 2
- **Habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias:** EM13CNT106, EM13CNT203, EM13CNT206 e EM13CNT309
- **Tema contemporâneo transversal:** Educação ambiental

Sugestões didáticas

Inicie a contextualização do tema pedindo aos estudantes que realizem a leitura do tópico "Principais fontes não renováveis de energia" e observem a figura "Matriz energética mundial em 2021". Instrua-os a formar grupos para que possam partilhar as interpretações acerca das questões norteadoras sugeridas a seguir.

- A "Matriz energética mundial em 2021" mostra que o uso de combustíveis fósseis (petróleo, carvão e gás natural) representava 80,3% da matriz energética mundial em 2021. Por que ainda os usamos, se são tão prejudiciais para a vida e o ambiente, em vez de explorar, por exemplo, fontes de energia renováveis, que são menos prejudiciais?
- Quais substâncias derivadas dos combustíveis fósseis alteram o ambiente ao meu redor e prejudicam a vida? De que maneira elas provocam o agravamento do efeito estufa, a chuva ácida e outros impactos ambientais?
- De que forma conhecer a "linguagem química", as reações e as propriedades dessas substâncias me ajudará a compreender as discussões socioambientais, econômicas e políticas que se relacionam com a problemática da dependência mundial dos combustíveis fósseis?

Peça aos estudantes que discutam em grupos as respostas a essas questões e anotem em tópicos as conclusões a que chegaram. O uso dessa metodologia favorece o desenvolvimento da **competência geral 2**.

Em seguida, peça aos estudantes que, em grupos, realizem a leitura do capítulo, anotando as ideias principais de cada tópico buscando informações que lhes permitam responder às perguntas norteadoras. Solicite que respondam às questões apresentadas anteriormente. Fique atento para esclarecer possíveis dúvidas e equívocos que possam surgir.

Ao final das discussões, inicie pedindo a cada grupo que apresente as ideias principais acerca do que foi questionado. Anote na lousa as palavras-chave das respostas de cada grupo. Ao final, desafie os estudantes a encontrar padrões e diferenças nas respostas.

É importante orientar os estudantes a avaliar as consequências do uso dos combustíveis fósseis na vida, com base no contexto histórico e por meio de discussões políticas, econômicas e socioambientais, favorecendo o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT106** e **EM13CNT309**. Recomendamos como complemento a referência suplementar: GUIMARÃES M. Moléculas, problema e solução. **Revista Pesquisa Fapesp**, 183. ed., 2012. Disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/moleculas-problema-e-solucao/. Acesso em: 28 set. 2024.

Quanto à alteração do ambiente e aos riscos à vida causados pela queima de combustíveis fósseis, como o agravamento do efeito estufa e da chuva ácida, os estudantes costumam apresentar concepções alternativas em relação a esses fenômenos. Conforme reportado em: LEITE, L. *et al*. Chuva e chuva ácida: um estudo comparativo das concepções de estudantes minhotos e galegos. *In*: XXIII Congreso ENCIGA, n. 71, 2010, Galicia. **Anais [...].** Galicia: Asociación dos Ensenantes de Ciencias de Galicia, 2010. p. 149-151. Disponível em: http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/11444. Acesso em: 28 set. 2024.

Quanto ao efeito estufa, os autores Souza, Oliveira e Menezes (2016) mostraram que os estudantes podem caracterizá-lo como um fenômeno exclusivamente maléfico ao ambiente causado pelo ser humano quando, na verdade, ocorre naturalmente. Muitas vezes, eles também confundem esses fenômenos com o buraco na camada de ozônio e ignoram o efeito do aumento do metano sobre o agravamento do efeito estufa, levando em conta apenas a presença do dióxido de carbono. Dessa forma, atente a imprecisões que possam surgir a respeito desses fenômenos. Para saber mais, acesse a referência suplementar indicada a seguir.

SOUZA, E. V.; OLIVEIRA, M. S. M. L.; MENEZES, C. S. Concepções alternativas sobre o efeito estufa: implicações para o ensino de Ciências na educação básica. *In*: CONGRESSO Nordestino de Biólogos – Congrebio, v. 6, 2016, João Pessoa. **Anais [...]**. João Pessoa, 2016. Disponível em: http://congresso.rebibio.net/congrebio2016/trabalhos/pdf/congrebio2016-et-06-008.pdf. Acesso em: 28 set. 2024.

Finalize a discussão apresentando a fotografia que mostra a erosão do solo na Serra do Mar na década de 1980 para estimular a discussão sobre as consequências da chuva ácida, como a lixiviação do solo, o aumento do pH das águas prejudicando o ambiente, e a corrosão de monumentos históricos e de prédios. Isso permite aos estudantes avaliar o efeito da intervenção humana nos ecossistemas e a importância da sua preservação, estimulando assim as habilidades **EM13CNT203** e **EM13CNT206**.

Proposta de avaliação

A avaliação da aprendizagem pode ser realizada, em caráter formativo, por meio das diferentes atividades propostas ao longo do capítulo. A seção **Atividades de fechamento**, ao final do

capítulo, visa avaliar a aprendizagem dos estudantes em relação aos principais conteúdos abordados, incluindo questões de vestibular, a fim de preparar os estudantes para exames de larga escala.

Resoluções e comentários

Aplique e registre

1. Alternativa **d**. O petróleo consiste em uma mistura de hidrocarbonetos de composição variável, que muda de acordo com a região de onde ele é extraído.
2. Alternativa **b**. O metano, $CH_4(g)$, é um gás a pressão e temperatura ambientes e é constituído de moléculas apolares, cuja solubilidade em água é muito baixa. Além disso, o gás metano é inodoro, o que torna seu vazamento ainda mais perigoso.
3. Conforme classificação apresentada na tabela "Principais tipos de carvão mineral" presente no capítulo, é possível classificar as amostras (**a**) e (**b**) como turfa e hulha, respectivamente, 55%: turfa; 85%: hulha. A que possui maior teor de carbono (hulha) é a mais antiga.
4. Alternativa **b**. A tendência de se ter um pH maior, portanto, menos ácido, será em uma região com menor poluição, como uma região de floresta nativa.
5. Alternativa **e**. Os óxidos iônicos constituídos por metais dos grupos 1 ou 2 possuem caráter básico. Dentre as opções, o único que se classifica como óxido básico é o BaO, pois consiste na combinação do metal alcalino bário (Ba) com o oxigênio.
6. O pH do ácido clorídrico é menor que o do vinagre. Como a cor resultante do vinagre foi amarela, e este está em uma faixa de pH classificada como ácida, podemos estimar que a cor obtida com o ácido clorídrico também será amarela. Estima-se, também, que a cor com a soda cáustica seja azul, pois a solução básica mais próxima, o bicarbonato de sódio, também tem essa cor.

Em foco

1. A chuva ácida resulta da presença no ar de dióxido de enxofre (SO_2) e óxidos de nitrogênio (NOx). Esses gases são produzidos principalmente por usinas que queimam combustíveis fósseis contendo enxofre em sua composição, como o carvão mineral. Eles reagem com o oxigênio do ar e com a água, formando uma mistura de ácidos, incluindo ácido sulfúrico (H_2SO_4) e ácido nítrico (HNO_3), que, quando presentes na precipitação, resultam na chuva ácida.
2. A principal função do carbonato de cálcio no Sistema de Dessulfurização Gasosa (SDG) é reagir com os gases ácidos presentes nos gases de exaustão das usinas, como o dióxido de enxofre (SO_2) e o dióxido de nitrogênio (NO_2), para neutralizá-los e convertê-los em compostos sólidos não poluentes.
3. Com o crescimento populacional e a demanda por energia elétrica aumentada, caso não sejam desenvolvidos processos como o SDG, os níveis de poluição atmosférica podem aumentar. Por isso, novos métodos como SDG são importantíssimos, a fim de evitar níveis ainda mais alarmantes de poluição. Essa atividade está inserida no contexto do **TCT Educação ambiental** e favorece o **ODS 13**.
4. Espera-se que o estudante indique ao menos uma das razões a seguir:

   Impacto ambiental: a extração de calcário é uma atividade de mineração que pode causar sérios impactos ambientais. Isso inclui a degradação e a erosão do solo, a destruição de *habitats* naturais, a contaminação da água e a perturbação da biodiversidade local. Além disso, a mineração de calcário pode causar problemas de paisagem e visual, afetando negativamente a estética das áreas circundantes.

   Uso de recursos naturais: a extração de calcário consome uma quantidade significativa de recursos naturais, como energia e água, além de ocupar áreas extensas de terra. Isso exerce uma pressão adicional sobre os recursos naturais já limitados.

   Emissões de dióxido de carbono: o processo de extração e processamento do calcário pode resultar na emissão de dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera, agravando as emissões de gases de efeito estufa e o aquecimento global.

   Custos econômicos: a extração de grandes quantidades de calcário requer investimentos significativos em equipamentos, mão de obra e infraestrutura. Além disso, a necessidade de transporte do calcário para as instalações de dessulfurização pode aumentar os custos operacionais das usinas.

   Escassez de recursos: em algumas regiões, o calcário pode ser um recurso limitado, e a extração em larga escala pode levar à escassez local desse material valioso para outras aplicações, como na construção civil e na indústria de cimento.

Atividades de fechamento

1. A cor das pétalas pode variar em razão do pH do solo, que pode ser característico de cada região ou alterado por substâncias adicionadas aos adubos usados. Isso acontece pois os pigmentos das pétalas agem como indicadores químicos, variando sua coloração em função do pH do solo.
2. Alternativa **a**. O dióxido de carbono é um óxido de caráter ácido, pois em água reage formando ácido carbônico, que diminui o pH da água; pH é a sigla para potencial hidrogeniônico.
3. **I.** Falso. Observando o gráfico de pH, mesmo havendo uma diminuição do valor de pH pela reação do CO_2 com a água, os valores de pH ficaram acima de 8,0.

   III. Falso. Em 2012, observou-se o maior valor de pCO_2 e um menor valor de pH, registrado em 1999, 2000, 2008 e 2012.

   V. Falso. Quando pCO_2 foi igual a 310 µatm, o valor de pH se aproximou de 8,12.
4. **a.** Quanto menor o valor de pH de uma amostra, maior sua acidez. Assim, o município onde foi medida a maior acidez na água da chuva foi Piracicaba (pH = 4,5). Já o município onde foi medida a menor acidez na água da chuva foi Cubatão (pH > 5,5).

   b. Como a diferença entre os valores de pH é de uma unidade, pode-se dizer que a água da chuva de Piracicaba é, no mínimo, dez vezes mais ácida do que a água da chuva de Cubatão.
5. **a.** As fontes renováveis na matriz energética brasileira são: Derivados da cana-de-açúcar (15,4%), Hidráulica (12,5%), Lenha e carvão vegetal (9,0%), Outras fontes renováveis (7,0%) e Eólica e solar (3,5%). No total, essas fontes representam 47,4% de fontes renováveis. Enquanto na matriz energética mundial as fontes renováveis são a Biomassa (9,8%) e Hidráulica (2,7%), que juntas

representam 12,5% do total. O gráfico "Matriz energética mundial em 2021" apresenta a categoria Outros (2,5%) que engloba tanto fontes renováveis e não renováveis. Caso se considere essa categoria, podemos concluir que as fontes renováveis representam até 15% do total.

b. O Brasil possui uma dependência de combustíveis fósseis menor do que a comparação mundial, destacando-se a expressiva diferença na dependência do carvão mineral, 26,8% na matriz energética global e de 4,6% na matriz energética brasileira.

c. O Brasil, ainda que abaixo dos percentuais observados mundialmente, possui, aproximadamente, metade da sua matriz energética proveniente de fontes não renováveis, destacando-se o petróleo e derivados e o gás natural que, ao serem queimados, geram gases de efeito estufa que intensificam o aumento da temperatura média do planeta.

6. a. A tirinha aborda a forma como vivemos e a dependência injustificada de comportamentos que provocam o efeito estufa, como o deslocamento de pequenas distâncias de carro.

b. Apesar de sermos passageiros e termos uma vivência finita na Terra (nascemos, crescemos, envelhecemos e morremos), outras gerações herdarão o planeta que deixarmos, seja de uma perspectiva ambiental como propõe a tirinha, seja social.

c. Pequenas escolhas individuais do coletivo, como se deslocar de carro em trajetos que poderiam ser feitos de transporte coletivo ou a pé, intensificam a poluição e o agravamento das mudanças climáticas. Ainda que a emissão individual não impacte diretamente o planeta (como a ida do Armandinho à padaria de carro), devemos pensar que somos aproximadamente 8,2 bilhões de pessoas no mundo (dado de 2024) e, de maneira ampla, as pequenas escolhas individuais impactam o coletivo.

Capítulo 15 Substâncias que afetam a prática esportiva

Este capítulo tem como foco conceitos químicos relacionados à Química Orgânica que serão trabalhados com base na contextualização da prática esportiva. Ao longo das sugestões didáticas propomos uma dinâmica em grupo utilizando como referência a galeria de ideias (*gallery walk*), que ajudará na abordagem com todos os estudantes.

Objetivos de aprendizagem

Espera-se que, ao término deste capítulo, o estudante seja capaz de:

- reconhecer a diversidade química nos compostos orgânicos com base nos conceitos de classes funcionais e isomeria.
- identificar, classificar e explicar as diferenças nas propriedades físicas entre isômeros constitucionais com base nas suas estruturas químicas.
- reconhecer reações químicas para qualificação e diferenciação de isômeros constitucionais.
- reconhecer a técnica de espectroscopia de absorção molecular no infravermelho como um método para identificar grupos funcionais.
- identificar e classificar algumas substâncias bioativas com base em suas estruturas químicas e mecanismos de atuação no organismo.
- avaliar as consequências do uso indiscriminado de substâncias bioativas por pessoas saudáveis e atletas, relacionando com as políticas antidopagem existentes.
- reconhecer os principais polímeros naturais ou sintéticos utilizados no cotidiano.

Por dentro da BNCC

- **Competências gerais:** 1, 2, 4, 5, 7, 8, 9 e 10
- **Habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias:** EM13CNT101, EM13CNT104, EM13CNT207, EM13CNT301, EM13CNT302, EM13CNT303 e EM13CNT304
- **Temas contemporâneos transversais:** Saúde, Ciência e tecnologia

Sugestões didáticas

Inicie organizando a turma em seis grupos. O número de integrantes em cada grupo pode variar, a depender do tamanho da turma. Cada grupo ficará responsável por um tópico apresentado neste capítulo do Livro do Estudante: "Isomeria constitucional"; "Diversidade dos compostos orgânicos"; "Propriedades dos compostos orgânicos"; "Substâncias proibidas antes e/ou durante as competições"; "Transportadores de gás oxigênio"; "Polímeros nos esportes".

Peça aos integrantes dos grupos que, individualmente, elaborem um resumo acerca do tópico que lhes foi atribuído, utilizando o Livro do Estudante como material principal, mas também consultando outras fontes confiáveis de informação, como os *sites* indicados no boxe **Fique por dentro** e as plataformas de pesquisa da SciELO, Portal de Periódicos Capes e Biblioteca Virtual da Saúde, entre outras. Essa prática pode auxiliar os estudantes no desenvolvimento das **competências gerais 5** e **7**.

Após os integrantes do grupo finalizarem a elaboração dos seus resumos, eles devem compartilhar com o grupo a aprendizagem e as dúvidas para, então, produzirem um pôster com as principais ideias do tópico estudado. Para isso, podem ser utilizadas várias folhas de papel sulfite A4 agrupadas ou cartolinas. Essa abordagem favorece o desenvolvimento das **competências gerais 2** e **4**. Quando os pôsteres estiverem prontos, deverão ser afixados na sala de aula.

Para a socialização do material produzido, é necessário formar um novo grupo. Para isso, enumere os integrantes do grupo original e reagrupe-os de acordo com os que tiverem o mesmo número, de modo que nos novos grupos haja, pelo menos, um integrante de cada grupo original. O vídeo a seguir apresenta de maneira simples o funcionamento da estratégia didática *gallery walk*.

GALLERY WALK. [*S. l.*], 2014. Publicado por Mark Drollingues. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=pSt5echeRrM. Acesso em: 20 out. 2024.

Assim, os grupos de estudantes deverão circular pela sala de aula, parando na frente de cada pôster, e o estudante que participou da elaboração do pôster deverá explicá-lo. Disponibilize entre 7 e 10 minutos para os estudantes explicarem o pôster e fique atento às explicações para avaliar o grau de compreensão sobre os conceitos apresentados e dirimir os possíveis equívocos. Garanta que todos os estudantes tenham oportunidade de apresentar seu pôster, o que favorece o desenvolvimento das **competências gerais 4** e **7**.

Finalizado o trabalho em grupo, discuta sobre os tópicos trabalhados e peça aos estudantes que compartilhem o que entenderam de cada tópico. No momento da discussão, esclareça que a pesquisa sobre isomeria surgiu de uma coincidência observada na avaliação de dois artigos científicos diferentes, dos alemães Liebig e Wöhler, enviados a J. J. Berzelius em 1830. Em ambos os trabalhos, os pesquisadores relatam a descoberta de um novo composto de prata com a mesma fórmula (AgCNO), mas com propriedades diferentes. Essa abordagem favorece o desenvolvimento da **competência geral 1**. Aproveite o experimento de Wöhler para enfatizar o conceito de isomeria e ressalte que a descoberta desse fenômeno mostrou que as propriedades das substâncias químicas não dependem unicamente de sua composição, mas também do arranjo espacial dos átomos que formam o composto.

Antes de seguir para os próximos tópicos, realize a atividade de classificação dos compostos orgânicos, proposta na seção **Na prática**, que permite trabalhar os quatro pilares do pensamento computacional, ao mobilizar seis habilidades dessa estratégia para resolução de problemas: a análise de dados, a representação de dados, a decomposição de problemas, a abstração, a elaboração de algoritmos, os procedimentos e o paralelismo. A atividade também permite o desenvolvimento das **competências gerais 2**, **4**, **9** e **10** e das habilidades **EM13CNT301** e **EM13CNT302**.

Inicie a atividade organizando a turma em duplas e, a seguir, leia com eles o texto que abre a seção e esclareça os objetivos da atividade. Permita que os estudantes analisem as estruturas dos compostos e comecem a descrever as características que permitirão dividir e organizar essas moléculas em grupos cada vez menores, até que reste a estrutura de apenas um dos compostos.

Ao abordar o tópico "Tipos de isomeria constitucional", explique aos estudantes que uma pequena mudança na estrutura de um composto pode alterar suas propriedades. Como apresentado no estudo de Correia *et al*. (2010), a maioria dos estudantes que participou dessa pesquisa apresentou ideias alternativas sobre o conceito de isomeria constitucional. Quando lhes foi aplicada uma questão em que deveriam indicar a razão de um par de compostos – propanona e propanal – serem isômeros, a maioria dos estudantes respondeu que era pelo fato de os compostos apresentarem átomos de oxigênio.

Ao abordar as substâncias proibidas antes e/ou durante as competições esportivas, aproveite para revisar algumas funções orgânicas, utilizando os exemplos apresentados no livro do estudante. Exemplifique os efeitos indesejáveis que ocorrem com o uso de esteroides anabolizantes: perda de cabelo, puberdade acelerada, dificuldade ao urinar, aumento na incidência de lesões de tendões e ligamentos. Essa abordagem está inserida no contexto dos **TCT Saúde** e **Ciência e tecnologia**, favorece o **ODS 3** e contribui para o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT101**, **EM13CNT104**, **EM13CNT207** e **EM13CNT304**. Desenvolvem também a **competência geral 8**.

Proposta de avaliação

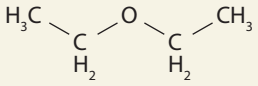
A avaliação da aprendizagem pode ser realizada, em caráter formativo, por meio das diferentes atividades propostas ao longo do capítulo. A seção **Atividades de fechamento**, ao final do capítulo, visa avaliar a aprendizagem dos estudantes em relação aos principais conteúdos abordados, incluindo questões de vestibular, a fim de preparar os estudantes para exames de larga escala.

Resoluções e comentários

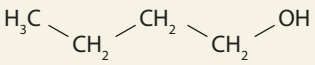
Aplique e registre

1. A molécula de linalol tem duas insaturações C = C e possui a função álcool, enquanto a de citronelal tem apenas uma insaturação C = C e função aldeído. Ambas as substâncias possuem fórmula molecular $C_{10}H_{18}O$.

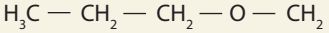
2. Alternativa **a**.



Etoxietano ($C_4H_{20}O$): éter



Isômero de função butan-1-ol ($C_4H_{10}O$): álcool



Isômero de compensação metoxipropano ($C_4H_{10}O$): éter

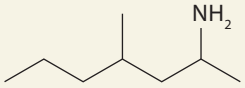
3. A diferença estrutural entre a testosterona e o clostebol é que, neste, há um átomo de cloro ligado ao átomo de carbono vizinho à carbonila. Como o cloro é um halogênio, a função orgânica que diferencia as estruturas é a de haleto orgânico.

4. **I.** Verdadeira. Todas as moléculas possuem pelo menos um ciclo de seis carbonos com ligações duplas e simples alternadas.

II. Falsa. A metadona também é uma amina terciária.

III. Falsa. O grupo ligado ao oxigênio é chamado de metil e não etil.

5.



Em foco

1. A expressão "contaminação cruzada", no contexto apresentado, refere-se à alegação feita pela jogadora de vôlei Tandara de que o resultado positivo para a substância proibida ostarina em seu exame *antidoping* foi causado pela presença não intencional dessa substância em um suplemento alimentar que ela consumiu. A contaminação cruzada ocorre quando uma substância proibida, neste caso, a ostarina, está presente em um produto que não deveria contê-la, como um suplemento alimentar. Esta atividade promove o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT303**.

2. Resposta pessoal. O caso de Tandara envolve considerações éticas e legais no contexto esportivo. A presunção de inocência é crucial, mas a decisão do TJD-AD indica uma convicção firme na culpabilidade da atleta. A confidencialidade do processo é essencial para garantir a integridade do julgamento, e a transparência nas decisões é fundamental para manter a confiança no sistema esportivo. O equilíbrio desses princípios é necessário para assegurar um processo *antidoping* justo e confiável. Outras matérias exploram a possibilidade de que a contaminação do composto proibido tenha ocorrido na farmácia em que a atleta obteve o produto (VECCHIOLI, Demétrio. Sem provas, Tandara tenta culpar farmácias por *doping*. **UOL**, [*s. l.*], 20 maio 2022. Disponível em: https://www.uol.com.br/esporte/colunas/

olhar-olimpico/2022/05/20/sem-provas-tandara-tenta-culpar-farmacia-de-manipulacao-por-doping.htm. Acesso em: 20 set. 2024). Esta atividade favorece o desenvolvimento da **competência geral 7**, além do trabalho com o **ODS 16**.

3. Resposta pessoal. Podem-se destacar alguns aspectos relacionados ao tema:

   Equidade no esporte: o rigor na punição de atletas é uma forma de garantir a equidade no esporte. As punições severas são necessárias para desencorajar o uso de substâncias proibidas, mantendo um campo de jogo justo para todos os competidores.

   Doping involuntário: as instituições esportivas deveriam ser mais flexíveis, especialmente em casos de *doping* involuntário. Certas substâncias podem estar presentes em suplementos ou medicamentos sem o conhecimento do atleta, e punições menos severas poderiam ser mais justas nessas situações.

   Contaminação cruzada: No caso mencionado, a atleta Tandara alega contaminação cruzada de um suplemento alimentar. Algumas pessoas podem acreditar na validade desse argumento, enquanto outras podem considerá-lo uma tentativa de justificar o uso de substâncias proibidas.

   Disputas jurídicas: A possibilidade de recorrer à Corte Arbitral do Esporte (CAS) destaca a complexidade legal dessas questões. A justiça desportiva frequentemente envolve disputas jurídicas, e diferentes tribunais podem interpretar casos de maneiras distintas.

   Popularidade de substâncias proibidas: A menção da popularização de substâncias proibidas, como os SARMs, causa preocupações sobre a disponibilidade dessas substâncias no mercado. Isso pode influenciar a percepção sobre a responsabilidade do atleta por verificar cuidadosamente os suplementos que consome.

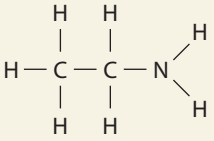
   A questão da punição de atletas por *doping* é complexa e envolve considerações éticas, legais e práticas. A abordagem adotada pelas instituições esportivas pode variar, e cada caso é único, exigindo uma análise cuidadosa das circunstâncias envolvidas.

Na prática

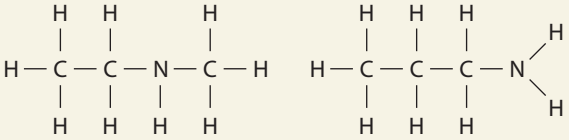
1. Nos capítulos 8, 13 e 14 os estudantes já foram apresentados às classes funcionais dos hidrocarbonetos, incluindo os alcanos, alcenos e alcinos; dos fenóis; dos álcoois; dos enóis; das aminas; das amidas; das cetonas; dos éteres; dos ácidos carboxílicos; e dos ésteres. Aproveite para indicar os nomes das classes dos anidridos, dos sais de ácido carboxílico, dos aldeídos e dos haletos de alquila.
2. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes identifiquem que o tipo e a localização dos grupos funcionais são importantes para tomar as decisões de forma padronizada. Essa questão permite o desenvolvimento da capacidade de abstrair das informações não essenciais, de decomposição de problemas e reconhecimento de padrões.
3. Resposta pessoal. É esperado que os estudantes reconheçam que, neste caso, a ordem pela qual as características são apresentadas no algoritmo não é um fator decisivo para a resolução do problema. Deixe claro que, a escolha da ordem dos passos a serem seguidos pode resultar em um algoritmo mais curto e, portanto, mais eficiente.

Atividades de fechamento

1. Alternativa **b**. Os compostos indicados no enunciado, éter (etoxietano, $C_4H_{10}O$) e acetona (propanona, C_3H_6O), pertencem às classes funcionais éter e cetona, respectivamente. Os éteres são isômeros funcionais dos álcoois, ao passo que as cetonas são isômeros funcionais dos aldeídos. A alternativa **b** traz, respectivamente, um álcool com 4 átomos de carbono, butan-1-ol, e um aldeído com 3 átomos de carbono, propanal.
2. Alternativa **a**. Analisando as estruturas, ambas as moléculas são isômeras, pois têm fórmula molecular $C_{21}H_{30}O_5$.
3. **a.** Sim. A diferença entre eles está na posição dos grupos substituintes. Trata-se de um caso de isomeria de posição.
   b. As moléculas do timol e do carvacrol apresentam o grupo hidroxila (—OH) e, por isso, interagem por meio de ligação de hidrogênio. Esses compostos também interagem por meio de dipolo instantâneo-dipolo induzido em função da porção composta apenas de átomos de carbono e de hidrogênio.
4. O ácido hexanoico apresenta maior temperatura de ebulição. As duas substâncias são homólogas, isto é, pertencem à mesma classe funcional e apresentam o mesmo tipo de cadeia; assim, a diferenciação se dá com base na massa molar dessas substâncias, ou seja, quanto maior a massa molar, maior o valor da temperatura de ebulição. Massa molar do ácido propanoico: 74 g mol^{-1}. Massa molar do ácido hexanoico: 116 g mol^{-1}.
5. Alternativa **d**. A lipofilia é a medida da afinidade de uma substância com outras substâncias apolares. Dessa forma, a análise aos grupos substituintes X, na estrutura, permite classificar compostos quanto ao maior ou menor caráter lipofílico (ou hidrofóbico). Na molécula de testosterona, o grupo —OH é hidrofílico, e nos compostos 1 e 2 os grupos substituintes são —H e $—CH_3$, respectivamente, ambos hidrofóbicos. Logo, as lipofilias desses compostos são maiores que a da testosterona.
6. **a.** A: CH_3NH_2; B: C_2H_6NH; C: C_3H_9N
   b. Os compostos B e C apresentam isômeros.
   Isômero do composto B:



   Isômeros do composto C:

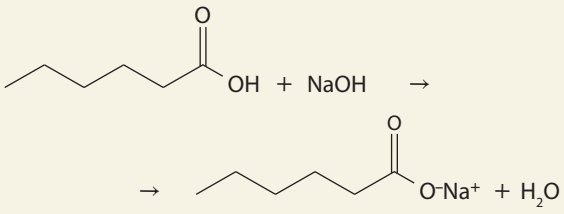


   c. Entre as moléculas de A e entre as moléculas de B, verificam-se interações do tipo ligação de hidrogênio, pois há átomos de hidrogênio ligados aos átomos de nitrogênio. Entre as moléculas de C, verificam-se interações do tipo forças de Keesom, dado que nesse composto as moléculas são polares e não apresentam átomos de hidrogênio ligados ao átomo de nitrogênio.
   d. As moléculas de C são menos solúveis em água. As interações do tipo forças de Keesom, que se estabelecem entre as moléculas de trimetilamina e de água, são

menos intensas que as ligações de hidrogênio verificadas entre as moléculas das demais substâncias representadas e as de água. Adicionalmente, a massa molar da trimetilamina é maior, o que contribui para reduzir a sua solubilidade em água.

7. Como etanol e éter dimetílico são isômeros e, portanto, têm a mesma massa molecular, a diferença observada se dá pelas diferentes forças de interação intermolecular. As moléculas de etanol interagem por meio de ligações de hidrogênio, o que não é observado entre as moléculas do éter dimetílico, que apresentam interações menos intensas (forças de Keesom). Como as ligações de hidrogênio são mais fortes que as forças de Keesom, é necessário fornecer mais energia ao sistema para rompê-las e fazer que a substância passe da fase líquida para a gasosa. Assim, a TE do etanol é maior do que a do éter dimetílico.

8. **a.**



b. Moléculas anfipáticas apresentam porções hidrofílicas e hidrofóbicas (cadeia carbônica semelhante a um hidrocarboneto).

c. O ácido acético é mais solúvel em água. Ambos os ácidos interagem com as moléculas de água por meio de ligações de hidrogênio, entretanto, o ácido hexanoico apresenta maior cadeia carbônica e, portanto, maior caráter hidrofóbico.

9. O estudante não está correto, pois, embora a fórmula estrutural da molécula apresente dois grupos hidroxila, apenas um se refere à função álcool. O grupo hidroxila, ligado ao anel benzênico, não corresponde à função álcool, mas, sim, à função fenol.

Capítulo 16 Polímeros nos esportes

Neste capítulo, será apresentado como a tecnologia e o desenvolvimento de novos materiais permitiram e permitem a prática do esporte de alta *performance*. Serão abordados conceitos relacionados aos polímeros e suas estruturas aplicadas aos variados materiais utilizados em diferentes práticas esportivas. Será abordado também como a tecnologia foi desenvolvida com base nas observações de materiais naturalmente presentes na natureza, como a seda e o látex.

Objetivos de aprendizagem

Espera-se que, ao término deste capítulo, o estudante seja capaz de:

- reconhecer os principais polímeros naturais ou sintéticos utilizados no cotidiano.
- compreender o conceito de monômero.
- identificar monômeros a partir da estrutura molecular de um polímero.
- discorrer sobre o látex indicando utilidades e limitações.
- refletir sobre o desenvolvimento tecnológico com base em percepções de materiais na natureza, como o látex e a seda.

Por dentro da BNCC

- **Competências gerais:** 1, 4, 5, 6, 8 e 9
- **Habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias:** EM13CNT104, EM13CNT207, EM13CNT303, EM13CNT304 e EM13CNT307
- **Tema contemporâneo transversal:** Trabalho

Sugestões didáticas

Recomendamos a utilização da estratégia didática galeria de ideias (*gallery walk*), que favorece o desenvolvimento das **competências gerais 4**, **7** e **9**, pois os estudantes são motivados a pesquisar em fontes confiáveis, selecionando informações para expressar suas ideias com clareza, conectando-as com as ideias dos colegas. Para melhor entendimento dessa estratégia didática, acesse o vídeo da referência suplementar: GALLERY WALK. [*s. l.*], 2014. Publicado por Mark Drollingues. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=pSt5echeRrM. Acesso em: 2 out. 2024.

Peça aos estudantes que, individualmente, elaborem um resumo acerca do tópico principal do capítulo "Polímeros nos esportes", utilizando o Livro do Estudante, mas também consultando outras fontes confiáveis de informação, como a indicada no boxe **Fique por dentro** e as plataformas de pesquisa da SciELO, o portal de periódicos Capes e a Biblioteca Virtual da Saúde, entre outras. Dessa forma é possível desenvolver as **competências gerais 5** e **7**, bem como as habilidades **EM13CNT104** e **EM13CNT307**.

Depois de finalizarem a elaboração dos seus resumos, forme grupos em que eles deverão compartilhar a aprendizagem e as dúvidas para, então, produzirem um pôster com as principais ideias do tópico estudado.

Proposta de avaliação

A avaliação da aprendizagem pode ser realizada, em caráter formativo, por meio das diferentes atividades propostas ao longo do capítulo. A seção **Atividades de fechamento**, ao final do capítulo, visa avaliar a aprendizagem dos estudantes em relação aos principais conteúdos abordados, incluindo questões de vestibular, a fim de preparar os estudantes para exames de larga escala.

Resoluções e comentários

Aplique e registre

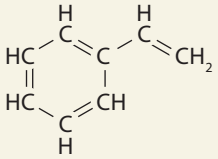
1. Buna-N é um copolímero, pois é formado a partir da polimerização de dois monômeros diferentes: a prop-2-enotrila e o buta-1,4-dieno.

2. Alternativa **d**. O cloreto de vinila (ou cloroeteno) é o monômero do PVC. Como trata-se de um polímero de adição, o monômero precisa ter uma instauração entre carbonos e um átomo de cloro ligado diretamente ao carbono da instauração para poder polimerizar e formar o PVC.

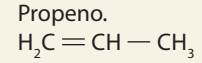
3. **a.** Eteno.

$H_2C = CH_2$

b. Etenilbenzeno.

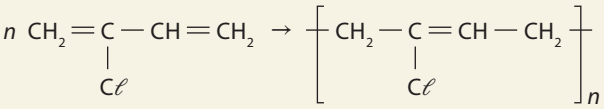


c. Propeno.



4. O processo de vulcanização forma ligações de enxofre entre as cadeias poliméricas, tornando a borracha mais resistente, porém sem perder a elasticidade. No entanto, quanto maior o teor de enxofre, menor será a elasticidade do produto, porque maior será o número de ligações de enxofre. Com o teor de enxofre de 10%, a borracha obtida pode ser empregada na fabricação de pneus que necessitam de maior rigidez.

5. A obtenção do neoprene pode ser representada pelo esquema a seguir.



2-clorobuta-1,3-dieno — neoprene

Em foco

1. A diferença de tempo no teste foi de 0,91 s. O recorde mundial atual é de 23,55 s e foi estabelecido em julho de 2023, enquanto o tempo do segundo colocado foi de 24,04 s e foi estabelecido em agosto de 2009, uma diferença de 0,49 s. Portanto, a diferença de 0,91 s é significativa. Essa atividade contribui para o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT303**.

2. Os princípios do documento emitido pelo COE no final de 2021 são: 1) Inclusão; 2) Prevenção de danos; 3) Não discriminação; 4) Justiça/Equidade; 5) Nenhuma presunção de vantagem; 6) Abordagem baseada em provas; 7) Primazia da saúde e da autonomia corporal; 8) Abordagem centrada nas partes interessadas; 9) Direito à privacidade; 10) Revisões periódicas.

Desses princípios, o de número 4 (Justiça/Equidade) relaciona-se com o que é discutido no texto, como é possível constatar no item **a**: "Proporcionar confiança de que nenhum/a atleta dentro de uma categoria terá uma vantagem competitiva injusta e desproporcional (nomeadamente um ganho extra obtido alterando seu corpo ou um benefício que exceda desproporcionalmente outras vantagens que existem na competição de alto nível)".

3. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes considerem argumentos a favor do uso dos supertrajes e argumentos contrários. Destacamos como possíveis argumentos favoráveis à melhoria na flutuação e hidrodinâmica e à quebra de recordes. Já possíveis argumentos contra seu uso seriam as vantagens artificiais e a quebra do princípio de equidade do esporte. Ao promover a reflexão sobre situações controversas, contribuímos para o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT304**.

Trabalho e juventudes

1. A primeira informação que deve ser notada pelos estudantes, ao responder a essa questão, é a faixa etária para um estudante ser considerado em um programa de jovem aprendiz: maior de 14 anos e menor de 24 anos. Em segundo lugar, entende-se pelo texto que estudantes do Ensino Médio e com idade dentro da faixa etária especificada podem ser contratados como jovens aprendizes em uma indústria química, mas as atividades que poderão exercer são serviços de apoio na área de recursos humanos, administração e finanças, fornecimento de informações sobre produtos e serviços para clientes e fornecedores, auxílio na organização de arquivos e documentos digitais ou impressos, recepção a visitantes da empresa e condução dessas pessoas ao setor que estão procurando. Essa abordagem possibilita a mobilização da **competência geral 6** e contempla o **ODS 8**.

2. Espera-se que os estudantes acessem a página de internet da redação oficial do Decreto nº 11.479/23 que está disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2023/decreto/D11479.htm (Acesso em: 17 jan. 2024). Em seguida, devem escolher algumas das situações elencadas e escrevê-las no caderno. Entre essas situações estão: jovens e adolescentes egressos do trabalho infantil; jovens e adolescentes com deficiência; jovens e adolescentes matriculados em instituição de ensino da rede pública, em nível fundamental, médio regular ou médio técnico, incluída a modalidade de educação de jovens e adultos; adolescentes egressos do sistema socioeducativo ou em cumprimento de medidas socioeducativas. Mais do que trabalhar a leitura de texto, a questão procura incentivar os estudantes a reconhecer as leis como documentos nos quais poderão consultar e conhecer seus direitos e deveres. Essa atividade mobiliza as **competências gerais 5** e **8** e a habilidade **EM13CNT207**, além de favorecer o **ODS 10**, meta 10.2.

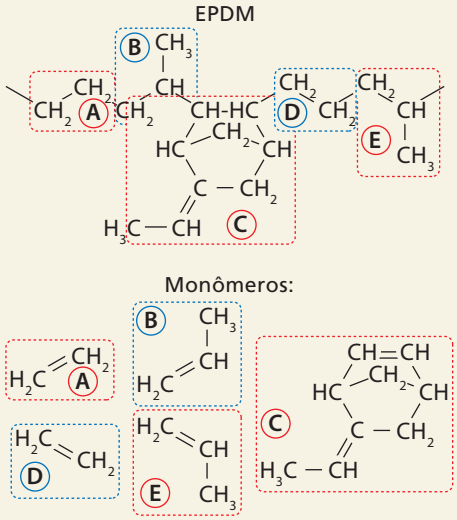
3. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes identifiquem no texto a informação de que, embora a contratação deva ser prioritária aos jovens de 14 a 18 anos, as atividades a serem exercidas por eles não podem colocar em risco sua saúde física e mental nem sujeitá-los a atividades insalubres e periculosas. O trabalho descrito no anúncio da vaga claramente poderá prejudicar a saúde física dos jovens, colocando-os em situação de insalubridade e periculosidade ao demandar o trabalho com organização de reagentes e realização de reações. Portanto, ela não pode ser exercida por um jovem aprendiz dessa faixa etária e não está de acordo com a legislação vigente. Incentive os estudantes a obter informações adicionais sobre esse assunto acessando novamente o Decreto nº 11.479/23, *on-line*, e localizando o Artigo 53. Essa questão permite mobilizar as **competências gerais 5**, **6** e **8**, bem como o **TCT Trabalho** e o **ODS 8**.

4. Resposta pessoal. A atividade busca incentivar os estudantes a ter organização para conquistar uma oportunidade profissional por meio de programas de jovem aprendiz e a anotar suas experiências e impressões sobre todo o processo. O desenvolvimento dessa atividade mobiliza as **competências gerais 5**, **6** e **8**.

Atividades de fechamento

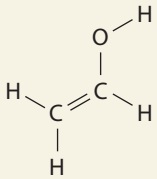
1. Alternativa **d**. Espera-se que os estudantes identifiquem que as demais alternativas são incorretas, pois PMMA apresenta maior caráter apolar que o AH em razão do maior número de grupos metila presentes em sua molécula; já no AH, os grupos hidroxila, carboxílico e amina conferem maior caráter polar a sua molécula quando comparados ao PMMA. O AH apresenta, em sua cadeia polimérica, a função orgânica amida secundária. Tanto o PMMA quanto o AH são substâncias compostas por apresentarem diferentes (dois ou mais) elementos na sua fórmula química (composição). O elemento mais eletronegativo entre os elementos C, H, O e N é o oxigênio em razão de sua maior afinidade eletrônica e elevada energia de ionização relativa.

2. Alternativa **d**.

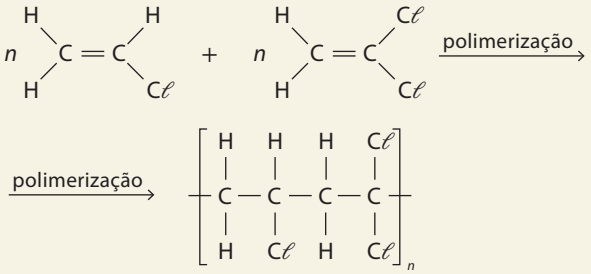


3. **a.** Pode-se observar pela fórmula estrutural que, na estrutura do polímero, a cadeia carbônica, que corresponde a uma região hidrofóbica, dá origem a interações intermoleculares do tipo forças dispersivas de London; além disso, a presença da função éster indica que as cadeias poliméricas interagem por meio de ligações do tipo dipolo permanente-dipolo permanente.

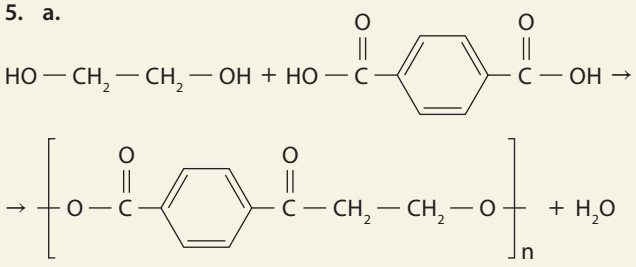
b.



4. A reação de polimerização para a formação do saran é um exemplo de polimerização de adição; as ligações duplas são rompidas e novas ligações covalentes são formadas entre os átomos de carbono e, por se tratar de um copolímero, ambas as moléculas indicadas configuram na unidade repetitiva do polímero:

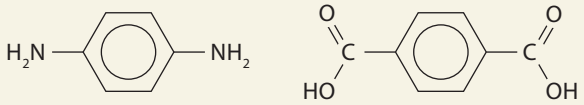


5. **a.**



b. O Dracon é um poliéster (função éster).

6. A função orgânica nitrogenada presente no Kevlar® é a amida. As estruturas dos monômeros têm grupos amina e ácido carboxílico (nas pontas das moléculas) que reagem para formar a poliamida.



A interação entre as cadeias adjacentes é do tipo ligação de hidrogênio.

Reflita sobre seu aprendizado!

Solicite aos estudantes que utilizem as perguntas dessa seção para autoavaliar suas compreensões sobre as principais ideias discutidas nesta unidade. Proponha que retomem as respostas da seção **Pense nisso!** que elaboraram no início do estudo dessa unidade e as reescrevam com base nos seus conhecimentos atuais sobre os temas estudados. A autoavaliação do processo de aprendizagem mobiliza as **competências gerais 1** e **6**. Em conjunto com a autoavaliação dos estudantes, utilize as elaborações deles ao longo de todo o trabalho a fim de avaliar a aprendizagem continuamente, identificando e dirimindo as lacunas de compreensão.

Educação midiática

A seção tem como objetivo que os estudantes desenvolvam as habilidades de:

- identificar vieses e perspectivas ideológicas que atravessam informações sobre mudanças climáticas.
- exercitar a verificação de informações, a fim de avaliar sua confiabilidade.
- produzir mídia com base em informações confiáveis e verificáveis sobre mudanças climáticas.

O texto introdutório e as questões iniciais têm o objetivo de instigar os estudantes e levantar conhecimentos prévios acerca do conteúdo.

1. Espera-se que o estudante indique que algumas das manchetes abordam o assunto em um tom alarmante de preocupação global, que merece a atenção da sociedade e esforços coletivos para que seus efeitos sejam atenuados. Para isso, recorrem a dados da Organização Meteorológica Mundial (OMM) e a uma recomendação da Organização das Nações Unidas (ONU), entidades que abarcam especialistas no mundo inteiro dedicados a estudar o fenômeno. No entanto, há outras que abordam o aquecimento global como uma hipótese exagerada e que, portanto, não merece tanta atenção da sociedade. Para defender essa ideia, recorrem a um único especialista em climatologia que expressa sua opinião a respeito sem, no entanto, citar dados que a sustentem.

2. Espera-se que, além de atribuir autoria a um perfil específico, como políticos, cientistas e especialistas, o estudante mencione que as manchetes apresentam dados matemáticos que transmitem a ideia de acuracidade, por exemplo, 1,2 °C.

3. Espera-se que o estudante analise de forma criteriosa e crítica o contexto de produção dos conteúdos. Além disso, ele pode estabelecer uma relação entre o cotidiano e a visão referente ao assunto. Um cidadão que vive em regiões onde as chuvas são um problema recorrente poderá generalizar e acreditar que, diante disso, há pouca possibilidade de que ocorram secas, queimadas ou mesmo aumento da temperatura. Por outro lado, o estudante pode comentar que não diversificar a fonte de informações pode contribuir para visões direcionadas.

Os quatro movimentos apresentados em **Ampliação do repertório** para a checagem de uma informação não precisam, necessariamente, ser seguidos de forma sequencial. O terceiro

tópico ("Busque mais") é certamente o mais importante quando falamos em verificar informações. A partir dele, os estudantes não apenas diversificam as fontes, mas também conhecem o contexto em que o conteúdo foi produzido. Durante a atividade, peça a eles que não apenas avaliem o conteúdo em si, mas também façam pesquisas sobre os *sites* nos quais estes são disponibilizados, para que entendam se estão diante de um veículo de comunicação coerente, reconhecido pelo trabalho jornalístico ou ligado a uma instituição de credibilidade.

Na atividade de **Produção de conteúdo**, espera-se que os estudantes sintetizem suas descobertas em uma mensagem textual e visual, considerando apenas informações confiáveis e que expressem uma coesão da comunidade científica sobre mudanças climáticas. Oriente os estudantes a explorar e adaptar modelos prontos de infográficos no aplicativo ou *site* Canva, ou então produzir um novo com base nas referências visuais disponíveis no aplicativo ou em outras plataformas.

Um infográfico é uma ferramenta de comunicação visual que combina elementos textuais e imagéticos para apresentar informações de forma clara, concisa e atraente. Ele utiliza recursos como ícones, ilustrações, gráficos, tabelas e textos curtos para organizar e sintetizar dados complexos, facilitando a compreensão do público. A combinação estratégica de elementos textuais e imagéticos é fundamental para a efetividade do infográfico. As imagens devem ser claras, relevantes e complementares ao texto. O texto deve ser conciso, informativo e fácil de ler. A organização visual do infográfico deve ser intuitiva e atraente, guiando o leitor de forma natural por meio do conteúdo.

A **Autoavaliação**, ao final da seção, apresenta alguns critérios para a autoavaliação dos estudantes. Caso considere pertinente, monte uma tabela de rubricas considerando os níveis de desempenho: avançado, adequado, satisfatório e insuficiente para cada um dos critérios sugeridos.

UNIDADE 5 SAÚDE HUMANA

A abertura desta unidade aborda o uso indiscriminado de medicamentos e seu efeito na saúde, destacando que uma dieta balanceada e a prática de atividades físicas são mais benéficas. Ao longo da unidade, será explorada a enantiosseletividade do organismo em relação a alguns princípios ativos de medicamentos, além de reações orgânicas utilizadas na obtenção de substâncias bioativas. O estudo das diferentes características presentes nos grupos alimentares e do papel de cada um deles para o corpo humano auxilia no direcionamento para escolhas de uma alimentação saudável. Por fim, são abordadas as funções e o funcionamento do sistema digestório, contribuindo para a compreensão da teoria de Brønsted-Lowry sobre o caráter ácido-base, bem como o conceito de equilíbrio químico em sistemas-tampões.

1. Espera-se que os estudantes compreendam as diferenças estruturais de moléculas isômeras.
2. Espera-se que os estudantes entendam como algumas substâncias interagem com as células do ponto de vista da estrutura das moléculas, possibilitando, assim, compreender como novos medicamentos e terapias são desenvolvidos.
3. Espera-se que os estudantes identifiquem a composição química dos macro e micronutrientes presentes nos alimentos, relacionando as propriedades físico-químicas às funções metabólicas, compreendendo a importância de um bom planejamento alimentar.
4. Espera-se que os estudantes analisem os diferentes tipos de reações orgânicas dentro do contexto de síntese de medicamentos.

Capítulo 17 Estrutura espacial e atividade biológica – Estereoisomeria

O foco deste capítulo é explorar os diferentes tipos de isômeros espaciais e como a disposição tridimensional dos ligantes em uma molécula afeta sua atividade biológica. Considerando que o tema envolve a compreensão de estruturas tridimensionais, recomendamos o uso de recursos visuais que facilitem o entendimento dos estudantes.

Objetivos de aprendizagem

Espera-se que, ao término deste capítulo, o estudante seja capaz de:

- classificar moléculas de acordo com o tipo de estereoisomeria apresentado por suas estruturas.
- diferenciar os isômeros *cis* e *trans*.
- analisar as propriedades físico-químicas de isômeros *cis-trans* com base nas suas estruturas e possíveis interações.
- reconhecer a atividade óptica de enantiômeros.
- compreender que os enantiômeros podem apresentar atividades biológicas diferentes.
- analisar as propriedades físico-químicas de isômeros *cis-trans* com base nas suas estruturas e possíveis interações.
- relacionar a mistura racêmica e as reações estereosseletivas para a produção de fármacos.

Por dentro da BNCC

- **Competências gerais:** 2, 7 e 9
- **Habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias:** EM13CNT101, EM13CNT205, EM13CNT301, EM13CNT302, EM13CNT303, EM13CNT306 e EM13CNT307
- **Temas contemporâneos transversais:** Ciência e tecnologia e Saúde

Sugestões didáticas

Inicie o trabalho desse capítulo apresentando o conceito de estereoisomeria, explicando que, enquanto os isômeros constitucionais se diferenciam por suas fórmulas estruturais planas, os estereoisômeros diferem na disposição espacial dos átomos que constituem as moléculas. Mostre que existem dois tipos de estereoisômeros: os diastereoisômeros e os enantiômeros. Se possível, utilize modelos tridimensionais das moléculas para representar exemplos de estereoisomeria, uma vez que os estudantes podem apresentar dificuldade em transitar entre os níveis de representação macroscópico, submicroscópico e simbólico.

Em seguida, proponha que, em grupos de quatro ou cinco integrantes, os estudantes produzam cartazes sistematizando

o conteúdo estudado. Cada grupo deverá ficar responsável por um tópico sobre estereoisomeria, e os estudantes deverão utilizar o material disponível no Livro do Estudante, além de textos de divulgação científica. Se preferir, divida a elaboração do cartaz em etapas, acompanhando a progressão de estudo presente no capítulo. A leitura desses materiais tem o intuito de auxiliar os estudantes na construção do cartaz. Essa abordagem visa favorecer o desenvolvimento das **competências gerais 7** e **9**, além de contribuir com a habilidade **EM13CNT303**.

A seção **Na prática** propõe a análise da interação da luz plano-polarizada com diferentes substâncias, possibilitando a elaboração de hipóteses, o emprego de instrumentos de medição e a análise de dados, contemplando as **competências gerais 2** e **7** e as habilidades **EM13CNT205** e **EM13CNT301**. Nessa etapa, oriente os estudantes a construir um polarímetro adaptado para explicar o comportamento das substâncias ao interagirem com a luz polarizada. No final da prática experimental, incentive-os a compartilhar com os demais colegas os resultados obtidos, favorecendo o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT302**.

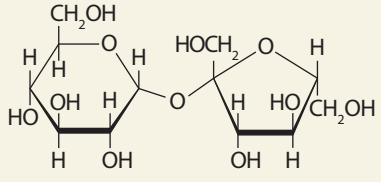
Proposta de avaliação

A avaliação da aprendizagem pode ser realizada, em caráter formativo, por meio das diferentes atividades propostas ao longo do capítulo. A seção **Atividades de fechamento**, ao final do capítulo, visa avaliar a aprendizagem dos estudantes em relação aos principais conteúdos abordados, incluindo questões de vestibular, a fim de preparar os estudantes para exames de larga escala.

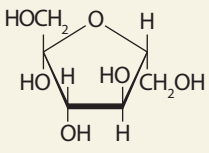
Resolução e comentários

Na prática

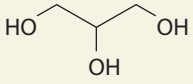
- Espera-se que os estudantes mencionem que será observada a diminuição do brilho da luz em função do desvio do plano da luz polarizada. Uma substância opticamente ativa desvia o plano da luz polarizada. Por isso, espera-se observar a diminuição do brilho da luz, que pode ser reestabelecido girando o filtro polarizador posicionado no ponto de observação (analisador), permitindo a passagem da luz cujo plano de propagação foi alterado.
- Espera-se que os estudantes mencionem que concentrações diferentes de uma substância opticamente ativa desviam o plano da luz polarizada em ângulos diferentes.
- As fórmulas estruturais simplificadas são:



Sacarose



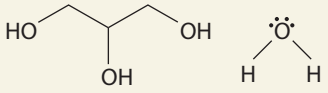
Frutose



Glicerol

1. Espera-se que os estudantes levantem como hipótese o fato de não existir substâncias opticamente ativas no ar, que é composto majoritariamente de gás nitrogênio, oxigênio, dióxido de carbono e gases nobres. É possível que alguns respondam que o desvio no plano da luz polarizada ocorre quando há birrefringência (ou dupla refração), o que não se verifica no ar, pois este é um meio isotrópico. Nos meios opticamente homogêneos como o ar, o índice de refração é constante em qualquer direção.

2. A água e a glicerina não são opticamente ativas por não apresentarem átomos de carbono assimétrico, como mostram as fórmulas estruturais planas a seguir.



Glicerol Água

3. Ao testar a solução aquosa de sacarose e frutose, o brilho observado diminui, sendo necessária a rotação do filtro polarizador usado como analisador para reestabelecer o brilho máximo. Tanto a sacarose quanto a frutose apresentam átomos de carbono assimétrico em sua estrutura, por isso são opticamente ativas.

4. O desvio no plano da luz polarizada se altera de acordo com a substância e com a concentração da solução testada — sendo maior quanto mais concentrada for a solução.

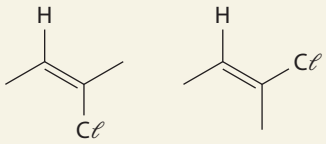
5. Avalie os valores dos desvios observados pelos estudantes. Não é possível prever a magnitude dos desvios observados experimentalmente, pois o desvio no plano de luz polarizada, além de depender de uma solução opticamente ativa, depende de fatores como a intensidade da luz, a temperatura do ambiente e o tamanho do caminho óptico que a luz percorre.

6. Assim como na questão anterior, não é possível prever a magnitude dos desvios observados experimentalmente. Entretanto, a solução aquosa de glicerina não apresenta atividade óptica, pois não há átomo de carbono assimétrico na molécula de glicerina. Sob as mesmas condições de temperatura, tamanho do caminho óptico que a luz atravessa e intensidade da luz incidente, espera-se que a magnitude do ângulo de desvio da luz polarizada varie proporcionalmente com a concentração das soluções contendo componentes opticamente ativos.

Aplique e registre

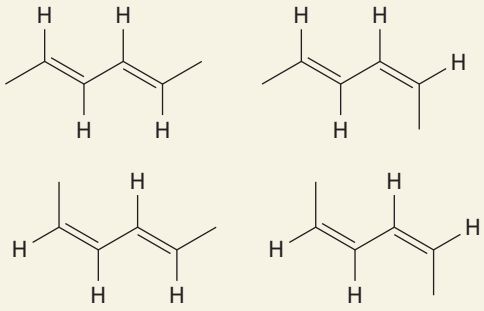
1. Compostos I, II e IV.

I. 2-clorobut-2-eno:



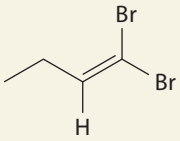
Perceba que a ligação dupla entre carbonos permite que os grupos CH_3 e os grupos H e Cℓ estejam em planos opostos (primeira estrutura) e no mesmo plano (segunda estrutura).

II. Hexa-2,4-dieno:

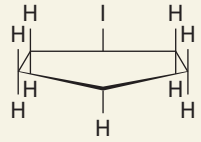


Perceba que a ligação dupla entre carbonos permite que os átomos de hidrogênio estejam em planos opostos e no mesmo plano.

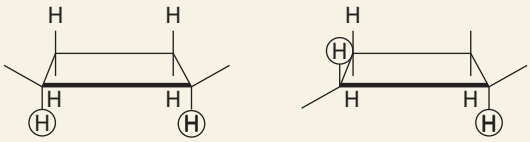
III. Não há possibilidade de isomeria *cis-trans* do composto 1,1-dibromobut-1-eno, pois os dois substituintes do carbono 1 são iguais.



IV. Não há possibilidade de isomeria *cis-trans* do composto iodociclopentano, pois todos os substituintes dos átomos de carbono vizinhos ao carbono que está ligado ao iodo são átomos de hidrogênio.



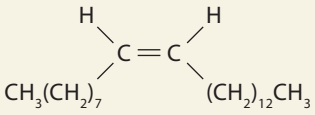
V. 1,2-dietilciclobutano.



Perceba, nesse caso, que a cadeia cíclica permite que os átomos de hidrogênio estejam no mesmo plano e em planos opostos.

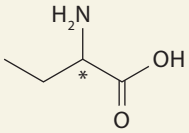
2. Não, pois um dos átomos de carbono da dupla ligação está conectado a dois grupos iguais (dois grupos metila). Dessa forma, não há possibilidade de inverter o posicionamento deles, impossibilitando a existência de isomeria *cis-trans*.

3. A fórmula estrutural do isômero *cis* da muscalura é:

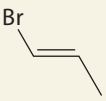


4. **a.** As fórmulas estruturais dessas substâncias estão representadas a seguir.

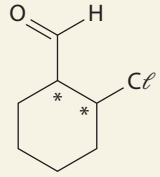
I.



III.

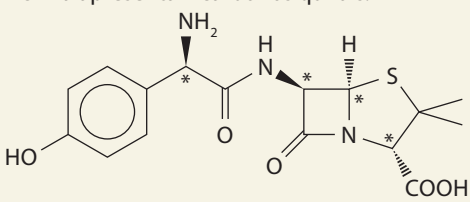


II.



b. Não. Apenas os compostos I e II apresentam isomeria óptica, pois têm átomos de carbono quiral. Tal fato não é observado em III.

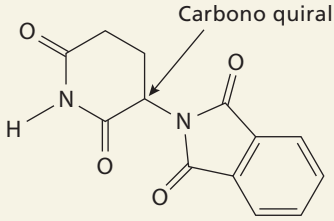
5. A amoxicilina apresenta 4 carbonos quirais.



6. Alternativa **d**. Dos aminoácidos indicados, apenas a glicina não apresenta isomeria óptica, pois não cumpre com o pré-requisito de ter quatro substituintes diferentes entre si ligados ao carbono (há dois –H), não tendo, portanto, a capacidade de produzir isômeros ópticos.

Em foco

1. O átomo de carbono assimétrico ou quiral está indicado a seguir.



2. **I.** Incorreta. Ainda há um número significativo de medicamentos vendidos na forma de mistura racêmica.

II. Incorreta. As ações terapêuticas geralmente são distintas.

III. Correta. Segundo o texto, no próprio caso dos enantiômeros da talidomida, sabe-se atualmente que o enantiômero R (que apresenta efeito terapêutico) pode se converter no enantiômero S (que apresenta efeito teratogênico) no organismo.

IV. Incorreta. A talidomida ainda hoje é utilizada no tratamento de algumas doenças, como a hanseníase.

3. Alternativa **d**. Os enantiômeros apresentam as mesmas propriedades físicas, exceto o desvio do plano da luz polarizada. Podem ser separados e suas estruturas apresentam grupos funcionais iguais. Essa má-formação congênita ocorre porque esses enantiômeros interagem de maneira distinta com o organismo, isto é, os enantiômeros têm ações fisiológicas diferentes.

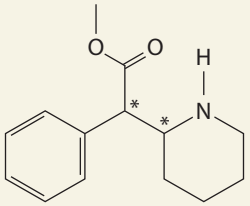
4. Espera-se que os estudantes percebam que a reabilitação da talidomida é justificada pelos avanços científicos que permitem seu uso controlado e seguro no tratamento de doenças graves, como hanseníase e certos tipos de câncer. Apesar de seu passado trágico, o conhecimento atual e as rigorosas regulamentações garantem que os benefícios superem os riscos. Isso reflete uma evolução ética e científica, em que os erros do passado são utilizados para melhorar a segurança dos medicamentos no presente. Essa atividade está inserida no contexto dos **TCT Ciência e tecnologia e Saúde** e favorece o **ODS 3**.

5. De acordo com as leis nº 7.070/1982 e nº 12.190/2010, as vítimas da talidomida têm direito a uma pensão especial mensal vitalícia e, além disso, uma indenização por danos morais a partir de 50 mil reais, dependendo da avaliação da perícia.

Atividades de fechamento

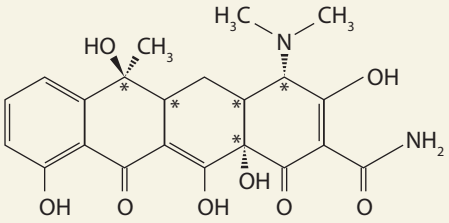
1. Alternativa **d**. Isômeros apresentam mesma fórmula química, mas são substâncias diferentes. O composto indicado na alternativa **d** tem fórmula molecular $C_4H_{10}O$. A fórmula molecular das estruturas apresentadas nos outros itens é C_4H_8O.

2. Alternativa **e**. Os átomos de carbono assimétricos apresentam quatro ligantes diferentes e são destacados por asteriscos na fórmula estrutural:



A fórmula molecular é determinada contando todos os átomos presentes na molécula: $C_{14}H_{19}NO_2$.

3. **a.** Para apresentar enantiomeria, a molécula deve ter pelo menos um átomo de carbono assimétrico. A condição para um átomo de carbono ser assimétrico é estar ligado a quatro grupos diferentes, o que ocorre nos átomos indicados com um asterisco a seguir.



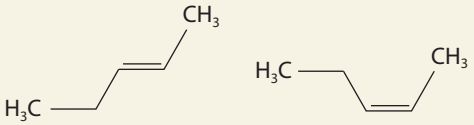
b. Espera-se que os estudantes tenham compreendido que o arranjo espacial das moléculas determina como se dará a interação entre a molécula e um receptor em agentes biológicos (vírus, bactérias etc.); dessa maneira, diferentes enantiômeros podem ter diferentes atividades biológicas. Esta questão favorece o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT307**.

4. Alternativa **d**. O isômero *cis* (composto III) é polar, enquanto o isômero *trans* (composto II) é apolar. Como as interações intermoleculares entre compostos polares são mais intensas que entre compostos apolares, a temperatura de ebulição da substância composta pela forma *cis* é maior quando comparada à forma *trans*. Comente com os estudantes que, embora não recomendado, o ponto de ebulição foi utilizado nesta questão no lugar de temperatura de ebulição.

5. Resposta variável. Espera-se que os estudantes expliquem o que é um ácido graxo/gordura *trans* utilizando os conceitos de insaturação, arranjo espacial e propriedades físico-químicas de isômeros *cis-trans*. O uso das gorduras *trans* apresenta vantagens, como conferir crocância aos alimentos e aumentar o prazo de validade dos produtos. Uma desvantagem é o aumento do risco de morte por problemas cardiovasculares relacionados ao consumo desse tipo de gordura. Se julgar conveniente, você pode transformar este exercício em uma atividade de pesquisa. Esta questão favorece o desenvolvimento da **competência geral 7** e das habilidades **EM13CNT303** e **EM13CNT306**.

6. Alternativa **e**. Todas as afirmações são verdadeiras. Caso o combustível analisado contenha querosene "marcado", haverá formação de um sal de sódio, solúvel em água. Esse sal (isômero *cis*), quando irradiado com luz ultravioleta, será convertido no isômero *trans*, que é fluorescente. Serão observadas duas fases: uma aquosa e uma apolar.

7. As moléculas do isômero *cis* apresentam um empacotamento menos eficiente que o das moléculas do isômero *trans*. Dessa forma, as interações intermoleculares no isômero *cis* são menos intensas e, consequentemente, a temperatura de fusão da substância formada por moléculas *cis* é menor (considerando a mesma pressão atmosférica). Já no isômero *trans*, como o empacotamento das moléculas é mais eficiente, as interações intermoleculares são mais intensas e, portanto, a temperatura de fusão da substância formada por elas é maior (considerando a mesma pressão atmosférica).



Trans-pent-2-eno *Cis*-pent-2-eno

8. A etapa correspondente à transformação do composto 3 deve ser alterada para que seja formado apenas o enantiômero desejado. Nessa etapa, um dos grupos —CO_2Et é removido, formando um composto que apresenta um carbono assimétrico em sua estrutura. Essa etapa deve ser alterada a fim de direcionar a remoção de especificamente um dos grupos —CO_2Et, de forma que a disposição espacial dos quatro substituintes corresponda apenas àquela encontrada no enantiômero biologicamente ativo. Esta questão favorece o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT101**.

Capítulo 18 Reações orgânicas e substâncias bioativas

Este capítulo aborda a estrutura de moléculas como etanol, nicotina e analgésicos, que podem afetar o funcionamento do sistema nervoso. Também discute a obtenção de compostos orgânicos, como fármacos, por reações de substituição, adição e oxirredução, considerando conceitos da Química Verde, que busca minimizar impactos ambientais na produção de substâncias.

Objetivos de aprendizagem

Espera-se que, ao término deste capítulo, o estudante seja capaz de:

- reconhecer a presença de substâncias bioativas em produtos destinados ao consumo de adultos e às diferentes terapias, identificando os efeitos dessas moléculas no organismo.
- diferenciar e equacionar as reações de adição, de substituição e de oxirredução que envolvem compostos orgânicos e prever seus produtos.
- avaliar as características estruturais de reagentes e produtos fazendo relação com a estabilidade das moléculas.
- identificar e compreender o conhecimento científico envolvido no funcionamento do bafômetro.
- explicar os princípios da Química Verde e as relações da prática com o desenvolvimento sustentável.

Por dentro da BNCC

- **Competências gerais:** 1 e 7
- **Habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias:** EM13CNT101, EM13CNT104, EM13CNT203, EM13CNT205, EM13CNT303, EM13CNT306, EM13CNT307 e EM13CNT309
- **Temas contemporâneos transversais:** Educação ambiental e Saúde

Sugestões didáticas

Inicie a aula solicitando aos estudantes que registrem os conhecimentos prévios sobre o tema respondendo às seguintes perguntas: "O que vocês entendem por drogas?"; "O que são fármacos?"; "Como vocês definem o que são medicamentos?"; "Vocês sabem o que são remédios e como podemos defini-los?"; "Todo remédio é uma droga?"; "De maneira geral, como podemos diferenciar os termos drogas, fármacos, medicamentos e remédios?"; "Citem exemplos de cada um desses conceitos.". Em seguida, organize o trabalho com esse capítulo em 4 partes para o desenvolvimento dos principais tópicos do capítulo: "Tabaco", "Analgésicos", "Bebidas alcoólicas" e "Química verde". Em cada etapa peça aos estudantes que leiam o tópico no período extraclasse e anotem as dúvidas. Em sala, abra espaço para discussão e em seguida proponha a resolução das atividades do boxe **Aplique e registre**.

O trabalho com as reações químicas contribui para que os estudantes desenvolvam a habilidade **EM13CNT101**.

Ao abordar o tema da produção da penicilina na seção **Em foco**, contemplamos o **TCT Saúde**, o **ODS 3**, bem como a **competência geral 1** e as habilidades **EM13CNT104** e **EM13CNT307**.

Ao abordar o tema Química Verde, inserido no contexto do **TCT Educação ambiental**, mencione que nem sempre um processo produtivo atende a todos os critérios, por isso eles podem ser classificados em três grupos: 1) os que usam fontes de energia renovável; 2) os que aumentam a eficiência dos processos, demandando menos energia para a fabricação/síntese de uma mesma quantidade de produto; 3) os que utilizam reagentes menos nocivos ao ambiente. Com essa abordagem favorecemos o desenvolvimento da **competência geral 7** e das habilidades **EM13CNT203**, **EM13CNT306** e **EM13CNT309**. Para subsidiar tópico "Química Verde" indicamos o artigo: LENARDAO, E. J. *et al.* "Green chemistry" – Os 12 princípios da Química Verde e sua inserção nas atividades de ensino e pesquisa. **Química Nova**, v. 26, n. 1, p. 123-129, 2003. Disponível em: https://www.scielo.br/j/qn/a/XQTWJnBbnJWtBCbYsKqRwsy. Acesso em: 21 out. 2024.

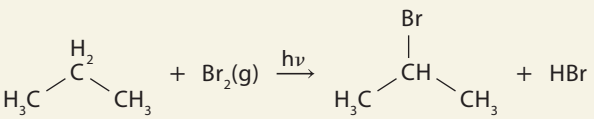
Proposta de avaliação

A avaliação da aprendizagem pode ser realizada, em caráter formativo, por meio das diferentes atividades propostas ao longo do capítulo. A seção **Atividades de fechamento**, ao final do capítulo, visa avaliar a aprendizagem dos estudantes em relação aos principais conteúdos abordados, incluindo questões de vestibular, a fim de preparar os estudantes para exames de larga escala.

Resoluções e comentários

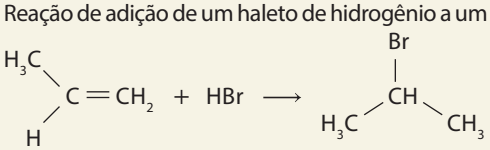
Aplique e registre

1. a. Reação de substituição:



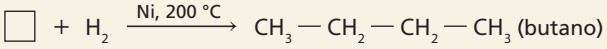
Propano — 2-bromopropano

b. Reação de adição de um haleto de hidrogênio a um alceno:

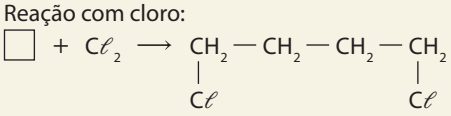


Propeno — 2-bromopropano

2. a. Reação com hidrogênio:



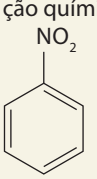
Reação com cloro:



(1,4-diclorobutano)

b. As reações do ciclobutano são mais lentas do que as do ciclopropano, pois o anel de três carbonos é mais instável que o de quatro, uma vez que a diferença entre os ângulos em relação ao tetraedro é maior.

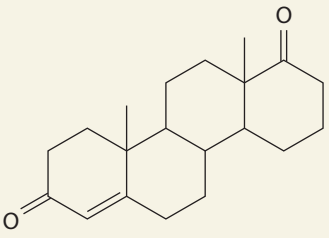
3. a. Na primeira etapa é formado o nitrobenzeno, cuja reação química é denominada nitração.



b. O grupo SO_2NH_2 está na posição *para* em relação ao grupo amino, pois o NH_2 é um substituinte *orto-para*-dirigente.

4. O bromobenzeno é o reagente utilizado para síntese do reagente de partida, pois o bromo é um substituinte *orto-para*-dirigente. Se o ácido benzoico fosse utilizado, o bromo entraria, preferencialmente, na posição *meta*.

5. A transformação em questão é a oxidação da hidroxila secundária à cetona correspondente cuja estrutura é:



6. Alternativa **b**. O etanol, em contato com oxigênio, oxida-se a ácido acético.

$CH_3CH_2OH + O_2 \rightarrow CH_3COOH + H_2O$

7. Espera-se que o propanal reaja com a solução ácida de dicromato de potássio, sendo oxidado e produzindo ácido propanoico (a solução de cor laranja se tornará verde-azulada). Já a propanona não pode ser oxidada por esse processo e nenhuma mudança de cor será observada.

Em foco

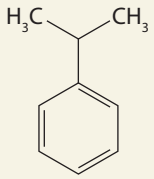
1. O maior halo transparente na placa (**A**) indica que um número menor de bactérias sobreviveu à ação da penicilina. Logo, a linhagem (**B**) é mais resistente. Essa atividade contribui para o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT205**.

2. Não, os ângulos de ligação no anel de quatro membros devem ser diferentes de 90°. No excerto, o autor afirma que o anel b-lactâmico não é plano, o que reduz a tensão do anel. Essa revisão corrobora com a teoria das tensões de Bayer, que propõe mudanças conformacionais para aumentar a estabilidade de compostos cíclicos.

3. A resistência bacteriana ocorre quando as bactérias se tornam menos sensíveis aos antibióticos em razão da seleção natural, o que é causado pela exposição repetida a esses medicamentos. Isso cria bactérias resistentes que se multiplicam, tornando o tratamento menos eficaz. A necessidade de desenvolver novos antibióticos surge como resposta a essa resistência, exigindo pesquisa constante e o desenvolvimento de novos tratamentos e estratégias para combater infecções bacterianas. Essa discussão favorece o **ODS 3**, além de possibilitar o trabalho interdisciplinar dom Biologia e o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT104**, **EM13CNT203** e **EM13CNT303**.

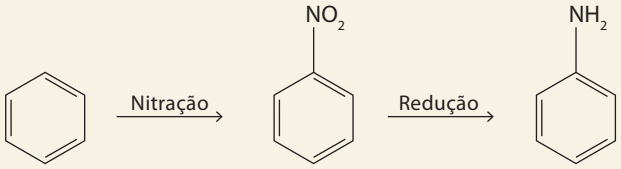
Atividades de fechamento

1. Alternativa **e**. É uma reação de substituição do tipo alquilação de Friedel-Crafts. O produto majoritário é o isopropil-benzeno, cuja fórmula estrutural é representada por:

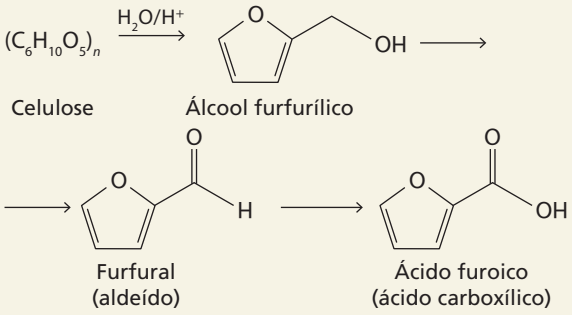


2. a. Fórmula molecular da anilina é C_6H_7N.

b. A obtenção da anilina a partir do benzeno pode ocorrer em duas etapas: a nitração do benzeno, para formar nitrobenzeno, e a posterior redução do grupo nitro, para formar a anilina. Embora não seja demanda da atividade, os estudantes podem representar a sequência de reações de maneira simplificada.



3. Tanto a conversão de álcool furfurílico a furfural quanto à conversão deste a ácido furoico ocorrem por meio de uma reação de oxirredução. Essa atividade favorece o trabalho com o **ODS 12**.



4. O termo "drogaria" remete ao local de venda de drogas, mas, nesse caso, essas drogas são para uso terapêutico e, portanto, lícitas, empregadas na formulação dos medicamentos.

5. Para determinar a economia atômica de um processo, deve-se, primeiramente, obter as fórmulas moleculares de todas as substâncias que participam da reação e, em seguida, calcular as massas moleculares dos reagentes e dos produtos de interesse. Cloreto de tionila ($SOC\ell_2$) = 119,0 u; pentacloreto de fósforo ($PC\ell_5$) = 208,2 u, ácido acético ($C_2H_4O_2$) = 60,0 u; cloreto de acetila ($C_2H_3C\ell O$) = 78,5 u. O segundo passo é determinar, para cada uma das reações indicadas, a massa total dos reagentes. Em seguida, determinar o percentual de economia atômica por meio de uma regra de três.

Na síntese com cloreto de tionila:

Massa total dos reagentes = 119,0 u + 60,0 u = 179,0 u

% economia atômica		Massa molecular
100%	———	179,0 u
x	———	78,5 u

$\therefore x = 44\%$

Na síntese com o pentacloreto de fósforo:

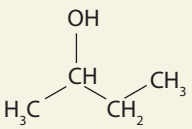
Massa total dos reagentes = 208,2 u + 60,0 u = 268,2 u

% economia atômica		Massa molecular
100%	———	268,2 u
y	———	78,5 u

$\therefore y = 29\%$

Logo, entre os processos apresentados, a reação que emprega cloreto de tionila apresenta a maior economia atômica para a obtenção de haleto de acila.

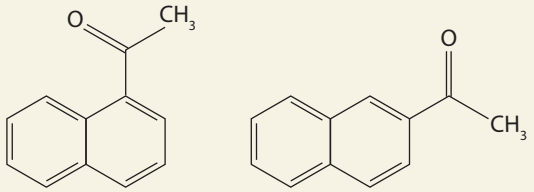
6. O álcool contido no frasco é o butan-2-ol.



No primeiro teste, em que se utilizou o reagente de Lucas, o meio se tornou turvo em decorrência da formação do haleto de alquila, insolúvel no meio. Como as anotações não indicam o tempo em que as alterações foram percebidas, pode-se afirmar que se trata de um álcool secundário ou terciário. Álcoois primários não reagem nessas condições.

No segundo teste, em que foi utilizado o reagente de Jones, a mudança na coloração indica que houve oxidação do álcool. Entre as alternativas, pode-se afirmar que se trata de um álcool secundário, já que álcoois terciários não reagem nessas condições.

7. Apenas duas cetonas podem ser obtidas:



Capítulo 19 Nutrientes

Neste capítulo, aborda-se o tema nutrição e propõe-se o uso da metodologia *jigsaw* para o estudo do conteúdo de forma colaborativa. Essa abordagem promove o trabalho em equipe, a comunicação e a construção de um conhecimento mais profundo sobre a importância dos nutrientes para a saúde.

Objetivos de aprendizagem

Espera-se que, ao término deste capítulo, o estudante seja capaz de:

- relacionar a composição química dos macro e micronutrientes presentes nos alimentos com suas propriedades e funções metabólicas.
- identificar os alimentos como fontes de nutrientes, diferenciando os macronutrientes e os micronutrientes.
- reconhecer a importância dos nutrientes para o organismo.
- reconhecer algumas interações biológicas exercidas por micronutrientes.

Por dentro da BNCC

- **Competências gerais:** 2, 7 e 8
- **Habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias:** EM13CNT101, EM13CNT104, EM13CNT205, EM13CNT301, EM13CNT306 e EM13CNT307
- **Temas contemporâneos transversais:** Saúde, Trabalho

Sugestões didáticas

Para iniciar este capítulo, sugerimos que os estudantes façam a leitura do texto de abertura, bem como a exploração da imagem apresentada, para terem uma ideia do que será trabalhado ao longo das próximas aulas. A análise das listas de ingredientes dos produtos, bem como a identificação da sua composição e valor nutricional, auxilia no desenvolvimento das habilidades **EM13CNT104** e **EM13CNT306**. Na sequência, propomos a utilização do método cooperativo *jigsaw*, conforme o artigo: FATARELI, E. F.; FERREIRA, L. N. A.; FERREIRA J. Q.; QUEIROZ, S. L. Método cooperativo de aprendizagem *jigsaw* no ensino de Cinética Química. **Química Nova na Escola**, v. 32, n. 3, p. 161-168, 2010. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc32_3/05-RSA-7309_novo.pdf. Acesso em: 21 out. 2024.

Peça aos estudantes que respondam, no caderno, aos seguintes questionamentos: "Você tem uma alimentação saudável? Por quê?"; "Do que você acha que os alimentos são constituídos?"; "O

que você sabe a respeito dos macro e micronutrientes dos alimentos, como glicídios (carboidratos), proteínas, lipídios (gorduras), vitaminas e minerais?"; e "E sobre as funções desempenhadas por esses nutrientes?". Depois, peça que compartilhem suas respostas e escreva na lousa as palavras-chave e os pontos em comum.

O tema lipídios pode ser desenvolvido de forma investigativa por meio da seção **Na prática** favorecendo o a mobilização das habilidades **EM13CNT205**, **EM13CNT301** e **EM13CNT307** pois permite ao estudante elaboração hipóteses e interpretação de resultados experimentais.

Por fim, peça aos estudantes que elaborem texto discutindo sobre o impacto da alimentação na saúde, favorecendo o desenvolvimento da **competência geral 8**.

Proposta de avaliação

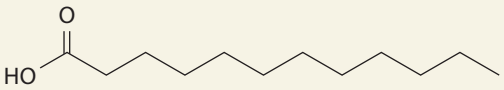
A avaliação da aprendizagem pode ser realizada, em caráter formativo, por meio das diferentes atividades propostas ao longo do capítulo. A seção **Atividades de fechamento**, ao final do capítulo, visa avaliar a aprendizagem dos estudantes em relação aos principais conteúdos abordados, incluindo questões de vestibular, a fim de preparar os estudantes para exames de larga escala.

Resoluções e comentários

Aplique e registre

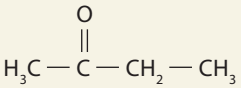
1. Não. Os triglicerídeos são um subgrupo dos lipídios. Existem outros lipídios, como as ceras, que não são triglicerídeos.

2. a. O ácido láurico tem 12 carbonos e é saturado, ou seja, não apresenta ligações duplas entre carbonos. Assim, a fórmula estrutural do ácido láurico é:



b. Os ácidos graxos saturados têm sido associados ao aumento dos níveis de LDL. Altos níveis de LDL no sangue podem levar ao acúmulo de placas nas artérias, aumentando o risco de doenças cardíacas e acidentes vasculares cerebrais (AVC). Apesar de o óleo de coco ser amplamente promovido como benéfico, a alta concentração de ácidos graxos saturados pode ter efeitos negativos na saúde cardiovascular, o que contraria a ideia de que ele seja um alimento saudável.

3. a. O composto metil-etil-cetona tem a seguinte fórmula estrutural:



Contando-se os átomos na molécula, temos: C_4H_8O.

b. O grupo carbonila deve estar ligado a dois carbonos para caracterizar a função cetona. Como são apenas quatro carbonos, não há outra posição possível para o grupo carbonila. Nesses casos, a numeração é suprimida.

4. I. Falsa. Não há moléculas de água associadas a um esqueleto carbônico, mas átomos de hidrogênio e de oxigênio associados a uma estrutura de base carbônica (cadeia carbônica).

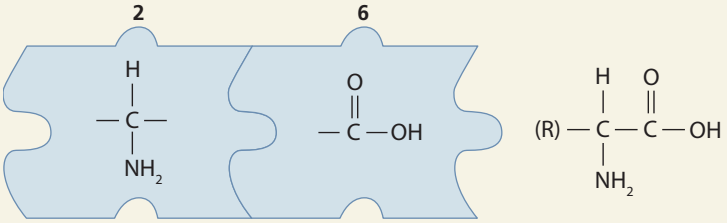
II. Verdadeira. A comparação é coerente, pois ambos são polissacarídeos de reserva energética. Nos vegetais, essa função cabe ao amido; nos animais, ao glicogênio.

5. A lactose presente na urina pode ser hidrolisada, formando glicose. Esses elevados níveis de glicose podem gerar um falso positivo para diabetes. Essa atividade desenvolve a habilidade **EM13CNT101**.

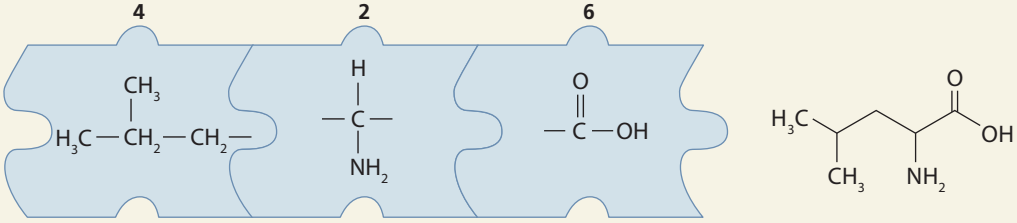
6. O amido do pão começa a ser digerido na boca, pela ação da amilase salivar, e produz unidades de glicose, as quais, por sua vez, são adocicadas. Essa atividade promove a interdisciplinaridade com Biologia e desenvolve a habilidade **EM13CNT101**.

7. Possíveis respostas: 4, 2 e 6 e 1, 2 e 6.

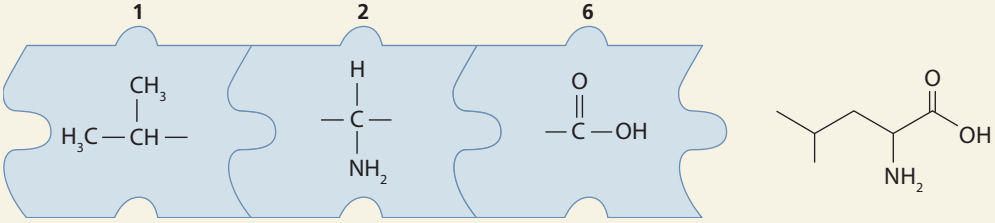
Colocando a peça 2 no meio e a 6 à sua direita, já se forma a estrutura básica de um aminoácido:



Assim, fica faltando apenas o grupo R, que pode ser 1 ou 4. Escolhendo a peça 4, temos:

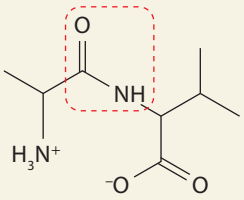


Escolhendo a peça 1, temos:



ILUSTRAÇÕES: LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

8. O dipeptídeo alanina-valina pode ser representado pela fórmula estrutural a seguir.



9. Alternativa **d**. Permanecer três meses sem consumir carne e derivados ocasiona um déficit nutricional proteico, uma vez que tais alimentos contêm aminoácidos essenciais em quantidades satisfatórias.

10. Em 200 g de hambúrguer, tem-se:

16% de proteínas: 0,16 · 200 g = 32 g de proteínas, que fornecem: 32 g · 4 kcal = 128 kcal;

14% de gorduras: 0,14 · 200 g = 28 g de gorduras, que fornecem: 28 g · 9 kcal = 252 kcal;

30% de carboidratos: 0,30 · 200 g = 60 g de carboidratos, que fornecem: 60 g · 4 kcal = 240 kcal.

Energia total obtida: 128 kcal + 252 kcal + 240 kcal = 620 kcal.

2.000 kcal ——— 100%

620 kcal ——— x

$\therefore x = 31\%$

O hambúrguer representa 31% da necessidade energética diária.

11. a. Energia (ingestão de carboidratos) = (36 + 35 + 33 + 5 · 11) · 17 = 2.703 kJ

Energia (ingestão de proteínas) = (31 · 4,1 + 2,20) · 17 = = 634,1 kJ

Energia (ingestão de lipídeos) = (32 + 15 + 11) · 38 = = 2.204 kJ

Energia total = (2.703 + 634,1 + 2.204) = 5.541,1 kJ

Cálculo do percentual de VDE:

8.400 kJ ——— 100%

5.541,1 kJ ——— p

$\therefore p = 66\%$

b. Quantidade de sódio na refeição = (1,22 + 0,31 + 0,18) = = 1,71 g

58,5 g de NaCℓ ——— 23 g de Na

m ——— 1,71 g de Na

$\therefore m = 4,35$ g de sal

Como 4,35 g < 5,0 g, o consumo diário máximo de sal comum não foi atingido com essa refeição.

12. A vitamina A é uma substância lipossolúvel, o que limita sua eliminação pela urina. Um caso diferente é o da vitamina C, que, por ser hidrossolúvel, pode ser facilmente eliminada pela hidratação do organismo, sendo expelida na urina. Essa atividade promove o desenvolvimento da **competência geral 8** e da habilidade **EM13CNT307**.

Em foco

1. Os Xavante têm substituído alimentos tradicionais – como batata-doce, abóbora e mandioca – por produtos industrializados – como pão de forma e refrigerante. Contribuiu para essas mudanças o fato de os indígenas terem parado de cultivar o que consomem (por exemplo, o cultivo do arroz integral).

2. Medidas que incentivem a volta à alimentação tradicional e a redução do consumo de alimentos industrializados.

3. A dependência dos povos indígenas em relação ao arroz branco adquirido nos supermercados pode ter impactos socioambientais significativos. Essa dependência pode levar à perda de práticas agrícolas tradicionais e do conhecimento ancestral, enfraquecendo a autonomia cultural e econômica dos povos indígenas. Essa dependência também afeta a sustentabilidade, pois a produção e o transporte do arroz branco geralmente envolvem práticas agrícolas intensivas e uso de combustíveis fósseis, contribuindo para a degradação ambiental e as emissões de gases de efeito estufa. Uma prática alternativa seria incentivar a agricultura tradicional e a diversificação de culturas, como o cultivo de mandioca, milho e frutas nativas. Essas práticas são mais adaptadas ao ambiente local e podem fornecer uma dieta mais equilibrada e nutritiva, promovendo a segurança alimentar sustentável, cuja prática vai ao encontro do **ODS 2** e está inserido no contexto do **TCT Saúde**.

Trabalho e juventudes

1. A permanência no campo pode aumentar em decorrência da disseminação de algumas tecnologias que contribuam para o aumento da produtividade com uma produção sustentável e eficiente, permitindo que pequenos e médios produtores possam continuar produzindo de maneira competitiva.

2. A soberania alimentar pode ser compreendida como o direito de uma população à segurança alimentar e nutricional e de definir políticas sobre o que, para quem e como produzir alimentos.

a. Espera-se que os estudantes reconheçam que a soberania alimentar garante que os hábitos alimentares, a história e a cultura de cada região brasileira sejam preservados, já que são os agricultores locais que geram os cultivos, dando preferência aos alimentos típicos e tradicionais da região.

b. Espera-se que os estudantes concordem com a afirmação, indicando compreender que a manutenção dos núcleos de agricultura familiar garante a soberania alimentar dos brasileiros e que, caso haja um êxodo dos jovens do campo nos próximos anos, essa soberania pode não ser mais garantida: sem jovens para dar continuidade à agricultura familiar, a variedade de cultivos e, consequentemente, de disponibilidade de alimentos, poderá diminuir em todo o país. Essa discussão está inserida no contexto do **TCT Trabalho** e promove os **ODS 2** e **8**.

3. Muitos jovens estão se profissionalizando para voltar para o meio rural como agrônomos e veterinários. Além dessas especializações, há diversas profissões que surgiram ou se modificaram acompanhando os avanços tecnológicos das últimas décadas, tais como engenheiro de automação agrícola, cientista de dados agrícolas, operador de *drone*, entre outras.

Na prática

- Espera-se que os estudantes indiquem que os principais ácidos graxos encontrados no óleo de soja são insaturados, como os ácidos linoleico (18:2 ω-6) e oleico (18:1 ω-9). A gordura de coco é rica em ácidos graxos saturados, como os ácidos láurico (12:0), mirístico (14:0) e caprílico (8:0).
- Não há semelhanças significativas: enquanto os lipídios são ácidos graxos, cujas cadeias carbônicas podem ser saturadas ou insaturadas, o amido é composto de amilose e amilopectina, dois polissacarídeos. O iodo reage com ligações insaturadas, por

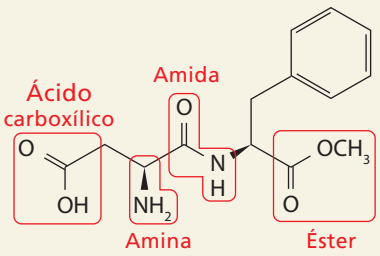
meio de uma reação de adição do tipo halogenação, e reage com a amilose, formando um complexo de cor azul-escura.

- O índice de iodo indica a massa de iodo, em gramas, que é consumido em 100 gramas de uma amostra. Esse índice permite conhecer a quantidade de insaturações na substância. Na etapa III do experimento, a adição de amido aos tubos C e D permite verificar a quantidade de iodo livre, ou seja, que não reagiu. Quanto mais iodo livre, menor o índice de iodo da substância inicial, permitindo comparar qualitativamente esse índice entre a gordura de coco e o óleo de soja.

1. Ao final da etapa I, observa-se coloração azul intensa no tubo A, evidência da reação entre iodo e amido. Ao final da etapa II, espera-se observar a descoloração da amostra do tubo D, indicando que o iodo reagiu com as cadeias carbônicas insaturadas. Ao final da etapa III, observa-se coloração azul nos tubos B e C, mas não no D, evidenciando reação química nos dois primeiros, entre iodo livre e amido. Espera-se que haja iodo livre na gordura de coco, mas não no óleo de soja, levando à conclusão de que há mais insaturações no óleo de soja do que na gordura de coco. Portanto, pode-se inferir que o índice de iodo do óleo de soja é maior do que o da gordura de coco.
2. A água atua como controle negativo, pois se trata de uma amostra cujo resultado no teste confia-se que será negativo. O controle negativo nos ajuda a garantir a validade das conclusões obtidas no experimento, uma vez que, se o teste der realmente negativo para essa amostra, temos um indício de que o procedimento foi bem executado pelo pesquisador ou analista. A solução de amido funciona como indicador. Em Química Analítica, os indicadores são substâncias que, acrescentadas ao sistema reacional, sinalizam a extensão ou o término da reação.
3. Nas manteigas, encontram-se gorduras de origem animal e, por isso, apresentam uma porcentagem mais elevada de ácidos graxos com cadeia saturada, em comparação com os óleos vegetais. Logo, o teste com o amido, para determinação de iodo livre, indicaria a presença de iodo que não reagiu em razão da baixa porcentagem de ácidos graxos insaturados na manteiga.
4. Os ácidos graxos insaturados são os oleicos, linoleicos e linolênicos. Espera-se que os estudantes sejam capazes de identificá-los com base nos dados das pesquisas realizadas.

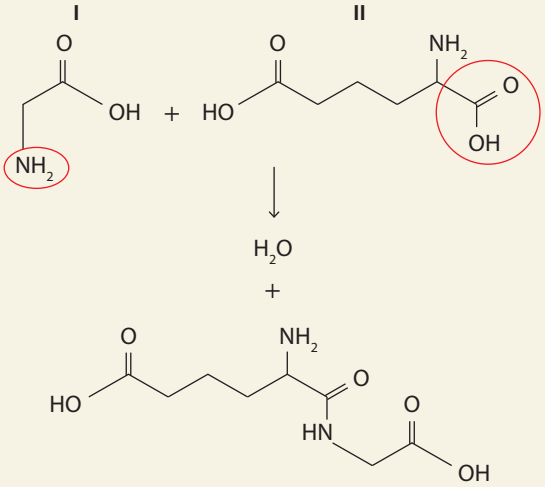
Atividades de fechamento

1. Alternativa **a**.

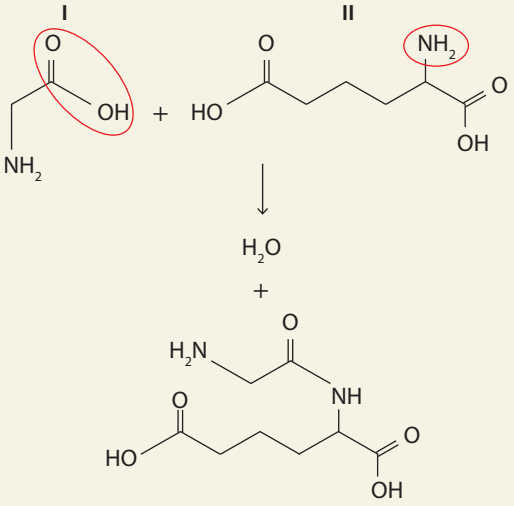


2. Alternativa **d**. A celulose é um polímero formado por moléculas de glicose na configuração β.
3. **a.** A fórmula molecular do ácido esteárico é: $C_{18}H_{36}O_2$.
   b. Esse composto é insolúvel em água. A molécula do ácido esteárico apresenta uma porção hidrofílica (grupo carboxila), capaz de realizar ligações de hidrogênio com as moléculas de água, e outra hidrofóbica (cadeia de átomos de carbono), que interage com outras moléculas do ácido, por meio das forças dispersivas de London. Quanto maior a cadeia carbônica, maior é a contribuição das forças dispersivas de London em relação à solubilidade dos ácidos graxos. Como o ácido esteárico tem uma longa cadeia carbônica, podemos concluir que é insolúvel em água.
4. **a.** Como as ligações peptídicas são estabelecidas entre os grupos amino e carboxila, há duas possibilidades.

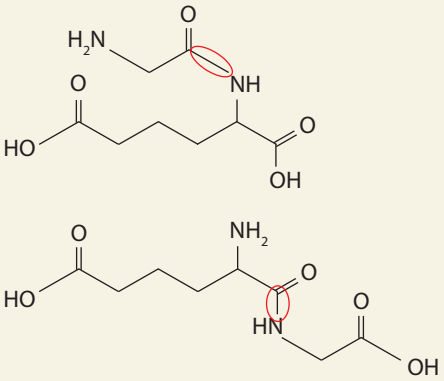
1ª possibilidade:



2ª possibilidade:



   b. As ligações peptídicas estão contornadas em vermelho.



5. Alternativa **b**. A variação de temperatura que ocorre no procedimento citado provoca a desnaturação e a consequente perda de função da enzima responsável pela conversão do açúcar em amido, o que mantém o sabor adocicado dos grãos de milho.

6. Cada copo de leite contém 13 g de glicídios; logo, dois copos de leite contêm 26 g de glicídios:

Massa de glicídios		Quantidade de energia
1 g	———	17 kJ
26 g	———	x

$$\therefore x = \frac{26\ \text{g} \cdot 17\ \text{kJ}}{1\text{g}} = 442\ \text{kJ}$$

Cada copo de leite contém 7 g de proteínas; logo, dois copos de leite contêm 14 g de proteínas:

Massa de proteínas		Quantidade de energia
1 g	———	17 kJ
14 g	———	y

$$\therefore y = \frac{14\ \text{g} \cdot 17\ \text{kJ}}{1\text{g}} = 238\ \text{kJ}$$

Cada copo de leite contém 6 g de lipídios; logo, dois copos de leite contêm 12 g de lipídios:

Massa de lipídios		Quantidade de energia
1 g	———	38 kJ
12 g	———	z

$$\therefore z = \frac{12\ \text{g} \cdot 38\ \text{kJ}}{1\text{g}} = 456\ \text{kJ}$$

Energia total = 442 kJ + 238 kJ + 456 kJ = 1.136 kJ

De acordo com a tabela "Gasto energético aproximado de algumas atividades", correr tem um gasto energético de 13,2 kcal kg^{-1} h^{-1}; por isso, concluímos que, se a pessoa tem 50 kg, ela gasta 660 kcal em 1 hora de corrida.

Se 1 cal equivale a 4,2 J, essa pessoa gasta 2.772 kJ em 1 hora de corrida:

Quantidade de energia		Tempo de corrida
2.772,0 kJ	———	1 hora
1.136 kJ	———	t

$$t = \frac{1.136\ \text{kJ} \cdot 1\ \text{hora de corrida}}{2.772{,}9\ \text{kJ}}$$

$\therefore t \simeq 0{,}4$ hora $\simeq$ 24 minutos

7. **a.** As proteínas são macromoléculas formadas pela união de aminoácidos. Embora apenas vinte deles sejam encontrados em proteínas, a diversidade de arranjos que eles podem formar, bem como a quantidade de aminoácidos em uma cadeia, dá origem às diversas proteínas existentes.

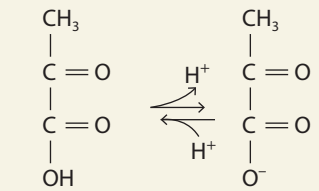
b. Segundo o enunciado, dos cinco aminoácidos presentes no pentapeptídeo, apenas dois serão glicina. Assim, há $2^3 = 8$ possibilidades de combinação entre os outros 3 aminoácidos. Os dois aminoácidos de glicina podem se localizar na cadeia peptídica de 10 modos diferentes. Portanto, há $8 \cdot 10 = 80$ pentapeptídeos diferentes que podem ser formados sob as condições estabelecidas.

8. **a.** Ambos são ácidos carboxílicos, pois apresentam o grupo carboxila (—COOH) em sua estrutura. Na nomenclatura sistemática, o primeiro termo utilizado, quando esse grupo está presente, é "ácido". Observa-se também a presença de função cetona, no ácido pirúvico, e da função álcool, no ácido lático; entretanto, os grupos que caracterizam essas duas funções têm menor prioridade em relação à função ácido carboxílico, para efeitos de escolha de um grupo principal e nomeação do composto conforme recomendação da IUPAC.

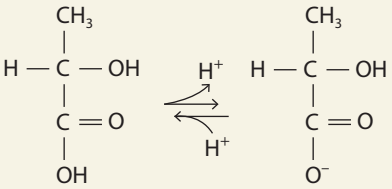
b. O grupo cetona é transformado em álcool (C — OH). A reação é uma oxirredução. A cetona se reduz a álcool, enquanto o NADH (dinucleotídio de nicotinamida e adenina, reduzido) se oxida a NAD^+ (dinucleotídio de nicotinamida e adenina, oxidado).

c. O composto NADH, uma coenzima, é o agente redutor, pois é o responsável pela doação de elétrons e H^+ ao ácido pirúvico, promovendo a redução do grupo carbonila. Da mesma forma, a coenzima sofre oxidação de NADH para NAD^+. Caso não haja NADH no meio reacional, a especificidade enzima-substrato dificulta ou até mesmo impossibilita a substituição do NADH por outra substância e, por isso, a reação não ocorre na ausência da coenzima reduzida.

d. Ambos os ácidos são ionizados em meio aquoso, gerando o íon carboxilato. Por se tratar de ácidos fracos, estarão pouco ionizados, estabelecendo um equilíbrio ácido-base. O ácido pirúvico gera sua base conjugada, o piruvato, e o ácido lático gera sua base conjugada, o lactato.



Ácido pirúvico Piruvato



Ácido lático Lactato

9. Alternativa **b**. Os testes mencionados no enunciado são essenciais em laboratórios de análises orgânicas para diferenciar glicídios e indicam, de forma qualitativa, a presença ou a ausência de substâncias com certas características. Vemos, nessa sequência de testes, que um resultado positivo para o teste de Fehling descarta a possibilidade de o analito ser a sacarose.

Capítulo 20 Equilíbrio químico e sistema-tampão

Este capítulo apresenta os conceitos de equilíbrio químico e sistema-tampão, com ênfase nas dimensões simbólicas (fórmulas e equações) e submicroscópicas (representações em modelos). A aprendizagem deles exige que os estudantes dominem outros conceitos, como ácidos e bases, soluções e logaritmo. Por isso, recomenda-se uma abordagem contextualizada e gradual, considerando os conhecimentos prévios dos estudantes e suas experiências cotidianas, bem como o uso de recursos e práticas mediadoras, como textos e experimentos.

Objetivos de aprendizagem

Espera-se que, ao término deste capítulo, o estudante seja capaz de:

- compreender os conceitos associados ao equilíbrio químico e como as perturbações desse equilíbrio influenciam nas reações.
- prever o comportamento de reações reversíveis a partir da constante de equilíbrio.
- interpretar o comportamento ácido-base de acordo com a teoria de Brønsted-Lowry, confrontando-a com a de Arrhenius.
- avaliar a força de ácidos e bases em função das constantes de equilíbrio químico e do grau de ionização ou dissociação.
- relacionar o caráter ácido-base de um sal em solução com a constante de hidrólise (K_h).
- analisar os processos de dissolução e precipitação em termos da constante de equilíbrio (K_s).

Por dentro da BNCC

- **Competências gerais:** 1, 2, 6, 7 e 8
- **Habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias:** EM13CNT101, EM13CNT104, EM13CNT203, EM13CNT206, EM13CNT307 e EM13CNT310
- **Tema contemporâneo transversal:** Saúde

Sugestões didáticas

Inicie a abordagem do capítulo pedindo aos estudantes que formem grupos de 4 a 6 integrantes para discutir o seguinte questionamento: "Qual é a função dos íons fluoreto (presentes, por exemplo, na água e em cremes dentais) na prevenção de cáries dentárias?". Registre as respostas dos grupos e explique que neste capítulo serão abordados os conceitos que contribuem para cuidar da saúde bucal, contemplando a **competência geral 8**.

Peça aos estudantes que leiam e discutam em grupo de 4 a 5 integrantes o texto da seção **Fique pode dentro**. Para a discussão, proponha: "O que é o pH e como ele é utilizado para classificar uma substância como ácida, neutra ou básica?" e "Por que beber água alcalina não altera o pH do corpo humano?". Ao final, cada grupo deve compartilhar suas conclusões e você enfatizar a importância da ciência no combate a desinformação, contemplando assim as **competências gerais 2** e **7** e as habilidades **EM13CNT104 e EM13CNT203**.

Organize o estudo dos tópicos desse capítulo utilizando a estratégia didática Sala de aula invertida, solicitando aos estudantes que leiam os tópicos no período extraclasse, anotando as dúvidas. Em sala, reúna os grupos e peça aos estudantes que respondam às questões da seção **Aplique e registre** de forma colaborativa. Essa abordagem favorece o protagonismo dos estudantes no processo de aprendizagem.

Finalize o capítulo abordando o tópico "Equilíbrio de solubilidade e formação de cáries". Para isso, retome as respostas dos estudantes sobre a questão apresentada no início do capítulo, perguntando se teriam novas contribuições. Essa discussão contribui está inserida no contexto do **TCT Saúde** e contribui para o desenvolvimento das **competências gerais 2**, **7** e **8** e das habilidades **EM13CNT101**, **EM13CNT104**, **EM13CNT203**, **EM13CNT206**, **EM13CNT307** e **EM13CNT310**.

Proposta de avaliação

A avaliação da aprendizagem pode ser realizada, em caráter formativo, por meio das diferentes atividades propostas ao longo do capítulo. A seção **Atividades de fechamento**, ao final do capítulo, visa avaliar a aprendizagem dos estudantes em relação aos principais conteúdos abordados, incluindo questões de vestibular, a fim de preparar os estudantes para exames de larga escala.

Resoluções e comentários

Aplique e registre

1. Tem-se que:

$[H^+] = 1{,}0 \cdot 10^{-6}$ mol L^{-1}; pH = –log $[1{,}0 \cdot 10^{-6}$ mol $L^{-1}]$; pH = 6.

$[H^+] = 2{,}5 \cdot 10^{-6}$ mol L^{-1}; pH = –log $[2{,}5 \cdot 10^{-8}$ mol $L^{-1}]$; pH = 8 – 0,4 = 7,6.

Assim, o indicador é amarelo quando o pH for menor que 6 e azul quando maior que 7,6.

a. Suco de tomate: amarelo (pH 4,6 < 6); água da chuva: amarelo (pH 5,6 < 6); água do mar: azul (pH 8,2 > 7,6).

b. O suco de tomate tem pH = 4,6, logo $[H^+] = 10^{-4,6}$ mol L^{-1}. A água da chuva tem pH = 5,6, logo $[H^+] = 10^{-5,6}$ mol L^{-1}. Dividindo os valores, conclui-se que o suco de tomate é 10 vezes mais ácido.

c. A água do mar tem pH = 8,2. Logo, $[H^+] = 10^{-8,2}$ mol L^{-1}.

O produto iônico da água é:

$[H^+][OH^-] = 10^{-14}$

Assim, $[OH^-] = \frac{10^{-14}}{10^{-8,2}} = 10^{-5,8}$ mol L^{-1}

2. **a.** Endotérmica, pois, com o aumento da temperatura, houve aumento de K_w que desloca o equilíbrio no sentido endotérmico (sentido direto, conforme princípio de Le Chatelier), aumentando a quantidade de íons H^+ e OH^- na solução.

b. Não, pois, em qualquer temperatura, um sistema neutro terá a mesma concentração de íons da água, mas com K_w específico para cada temperatura. Sendo:

$[H^+]\,[OH^-] = K_w$

Como $[H^+]$ e $[OH^-]$ são iguais em um sistema neutro, temos: $x^2 = K_w$

A 45 °C, temos:

$x = 2{,}0 \cdot 10^{-7}$ mol L^{-1}

pH = –log $[2{,}0 \cdot 10^{-7}$ mol $L^{-1}] \Rightarrow$ pH = 7 – 0,3 = 6,7

pH = pOH = 6,7

3. Os íons $Na^+(aq)$ e $C\ell^-(aq)$ formados na dissociação do cloreto de sódio não agem nem como ácidos nem como bases, pois são derivados de base e ácido fortes. Assim, não ocorrera hidrólise e nem mudança de pH do sistema.

4. Alternativa **a**. O consumo de doces intensifica o contato dos carboidratos com os dentes, comparado a outros tipos de carboidratos de cadeia longa, como o amido. Por essa razão, os doces são potencialmente mais prejudiciais à saúde bucal.

5. Podemos supor que a formação do esqueleto de coralito é mais um caso de reação afetada negativamente pelo aumento da acidez. A presença excessiva de íons $H^+(aq)$ poderá gerar a reação:

$$H^+(aq) + CaCO_3(s) \rightleftharpoons Ca^{2+}(aq) + HCO^{3-}(aq).$$

Essa reação acabará por dissolver o coralito, visto que o bicarbonato de cálcio é solúvel em água. Esses assuntos favorecem os **ODS 13** e **14**, bem como o desenvolvimento da **competência geral 7** e das habilidades **EM13CNT101**, **EM13CNT203** e **EM13CNT206**.

6. Usando o exemplo informado, temos:

$A\ell(OH)_3(s) \rightleftharpoons A\ell^{3+}(aq) + 3\ OH^-(aq)$; $K_s = [A\ell^{3+}]\ [OH^-]^3$

Substituindo $[A\ell^{3+}]$ e $[OH^-]$ por s e 3 s, temos:

$K_s = [s] \cdot [3\ s]^3 \therefore K_s = 27\ s^4$

Atividades de fechamento

1. Alternativa **d**. O aumento da concentração de OH^- diminui o valor de pOH, dada a expressão pOH= −log[OH^-]. Assim, considerando a expressão pH + pOH = 14, a diminuição de pOH resultará no aumento de pH. Essa atividade contribui para o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT101** e **EM13CNT104**.

2. Alternativa **c**. De acordo com o quadro do enunciado, valores de pH menores que 6 ou maiores que 8 tendem a reduzir a disponibilidade de nutrientes no solo devido à formação de substâncias pouco solúveis.

3. Alternativa **e**.

a. Incorreta. Como K_a (HF) > K_a (NH_4^+), HF apresenta maior tendência a doar próton.

b. Incorreta. A base conjugada do íon amônio, o NH_3, tem K_b maior e é mais forte do que o fluoreto, F^-.

c. Incorreta. A água recebe um próton, atuando como uma base de Brønsted-Lowry: $H_2O(\ell) + H^+(aq) \rightleftharpoons H_3O^+(aq)$

d. Incorreta. Quando o sal $NH_4F(s)$ é adicionado à água, os íons NH_4^+ e F^- se dissociam e são hidrolisados, pois são oriundos, respectivamente, de uma base fraca (NH_4OH) e de um ácido fraco (HF). Sendo K_a (NH_4^+) > K_b (F^-), a hidrólise de NH_4^+ acontecerá em extensão um pouco maior, produzindo mais íons H_3O^+ e dando origem a uma solução ácida.

e. Correta.

4. K_a(HX) > K_a(HZ). Quanto menor o valor de K_a, menor é a tendência do ácido a se ionizar. Assim, HZ é um ácido mais fraco que o HX.

5. **a.** $HNO_3(aq) + H_2O(\ell) \rightarrow H_3O^+(aq) + NO_3^-(aq)$

b. HNO_3 é um ácido de Brønsted-Lowry porque doa um próton e a espécie H_2O é uma base porque o recebe.

c. Par ácido-base conjugada: $HNO_3(aq)/NO_3^-(aq)$. Par base-ácido conjugado: $H_2O(\ell)/H_3O^+(aq)$

6. **a.** O aumento da concentração de íons perturbará o equilíbrio químico, favorecendo a formação de H_2CO_3 e, consequentemente, de CO_2.

$H_2O(\ell) + CO_2(aq) \rightleftharpoons H_2CO_3(aq) \rightleftharpoons H^+(aq) + HCO_3^-(aq)$

$\rightleftharpoons$ Aumento de $[H^+]$

b. Quando uma base é adicionada, ela reage com a água presente no plasma sanguíneo, formando íons OH^-.

$B^-(aq) + H_2O(\ell) \rightleftharpoons HB(aq) + OH^-(aq)$

Os íons OH^- reagem com os íons H^+, perturbando o equilíbrio químico e favorecendo a formação de H^+ e HCO_3^- (reação direta).

$H_2O(\ell) + CO_2(aq) \rightleftharpoons H_2CO_3(aq) \rightleftharpoons H^+(aq) + HCO_3^-(aq)$

Redução de $[H^+]$ $\rightleftharpoons$

7. Considerando a constante de equilíbrio:

$$K_c = \frac{[H_3O^+]\,[HPO_4^{2-}]}{[H_2PO_4^-]}$$

Uma substância de caráter ácido aumentará a concentração de íons $H_3O^+(aq)$, tornando $Q_c > K_c$. Assim, a reação inversa é favorecida, de modo que Q_c se iguale a K_c e uma nova situação de equilíbrio é alcançada.

8. pH = −log[H^+] ⇒ 3,0 = −log[H^+] ⇒ [H^+] = 1,0. 10^{-3} mol L^{-1}

	$CH_3COOH(aq) \rightleftharpoons$	$H^+(aq)$	$+CH_3COO^-(aq)$
Início (mol L^{-1})	x	0	0
Variação (mol L^{-1})	$-1{,}0 \cdot 10^{-3}$	$+1{,}0 \cdot 10^{-3}$	$+1{,}0 \cdot 10^{-3}$
Equilíbrio (mol L^{-1})	$(x - 1{,}0 \cdot 10^{-3})$	$1{,}0 \cdot 10^{-3}$	$1{,}0 \cdot 10^{-3}$

$$K_a = \frac{[H^+]\,[CH_3COO^-]}{[CH_2COOH]} \Rightarrow 1{,}8 \cdot 10^{-5} = \frac{(1{,}0 \cdot 10^{-3})^2}{(x - 1{,}0 \cdot 10^{-3})} \therefore x \simeq 0{,}056$$

Assim, a concentração de ácido acético é aproximadamente 0,056 mol L^{-1}.

9. **a.** Pode-se considerar que a concentração do di-hidrogenofosfato é 0,08 mol L^{-1} e a do hidrogenofosfato é 0,04 mol L^{-1}, pois a variação das concentrações é mínima entre a etapa inicial e o equilíbrio por conta da dissociação em grande extensão dos sais. Aplicando a equação de Henderson-Hasselbalch, tem-se:

$$pH = pK_a + \log\left(\frac{0{,}04}{0{,}08}\right) = 6{,}86 + \log 0{,}50 = 6{,}86 + (-0{,}30)$$

$\therefore$ pH = 6,56

A solução não atende às necessidades do meio.

b. O hidróxido de sódio é uma base forte e se dissocia em grande extensão. Os íons $OH^-(aq)$ adicionados reagem com o di-hidrogenofosfato, diminuindo sua concentração e aumentando a concentração da base conjugada.

	$H_2PO_4^-(aq)$	+ $OH^-(aq)$	⇌	$H_2O(\ell)$ +	$HPO_4^{2-}(aq)$
Início	0,08 mol L^{-1}	0,01 mol L^{-1}			0,04 mol L^{-1}
Variação	−0,01 mol L^{-1}	−0,01 mol L^{-1}			+0,01 mol L^{-1}
Equilíbrio	0,07 mol L^{-1}	0			0,05 mol L^{-1}

$$pH = pK_a + \log\left(\frac{0{,}05}{0{,}07}\right) \Rightarrow pH = 6{,}86 + \log 0{,}71 \Rightarrow$$

$\Rightarrow$ pH = 6,86 + (−0,15) $\therefore$ pH = 6,71

Essa solução atende às necessidades do meio.

10. O bicarbonato de sódio atua como uma base, ajudando a neutralizar os ácidos que são produzidos pelas bactérias e causam a desmineralização do esmalte dos dentes. Essa atividade contribui para o desenvolvimento da **competência geral 8** e da habilidade **EM13CNT307**.

11. Alternativa **e**. A presença de bactérias maléfica à saúde bucal, possibilitando a formação de cáries e placas. A higienização e a fluoretação da água fortalece o esmalte dos dentes e previne a formação de cáries. Essa atividade apresenta aspectos de interdisciplinaridade com o componente curricular Biologia. Além disso, ela contribui para o desenvolvimento da **competência geral 8** e das habilidades **EM13CNT307** e **EM13CNT310**.

12. **a.** A precipitação se inicia quando o produto das concentrações dos íons em solução é igual ao valor da constante de equilíbrio de dissolução do composto sólido. Considerando que todas as espécies têm a mesma proporção estequiométrica (1 : 1), o $SrCO_3$ apresenta o valor mais baixo de K_s, sendo o primeiro a se cristalizar.

b. Considere a constante de equilíbrio de dissolução do carbonato de estrôncio:

$K_s = [Sr^{2+}]\ [CO_3^-]$

Substituindo os valores de K_s e de Sr^{2+}, é possível estimar a concentração de íons carbonato para que o $SrCO_3$ comece a se formar.

$$1{,}0 \cdot 10^{-9} = (1{,}0 \cdot 10^{-6})\left[CO_3^{2-}\right] \Rightarrow \left[CO_3^{2-}\right] = \frac{1{,}0 \cdot 10^{-9}}{1{,}0 \cdot 10^{-6}}$$

$$\therefore \left[CO_3^{2-}\right] = 1{,}0 \cdot 10^{-3}\ \text{mol L}^{-1}$$

Reflita sobre seu aprendizado!

Solicite aos estudantes que também utilizem as perguntas dessa seção para autoavaliar suas compreensões sobre as principais ideias discutidas nesta unidade. Proponha que retomem as respostas da seção **Pense nisso!** que elaboraram no início do estudo dessa unidade e as reescrevam com base nos seus conhecimentos atuais sobre os temas estudados. A autoavaliação do processo de aprendizagem mobiliza as **competências gerais 1** e **6**. Em conjunto com a autoavaliação dos estudantes, utilize as elaborações deles ao longo de todo o trabalho como forma de avaliar a aprendizagem continuamente, identificando e dirimindo as lacunas de compreensão.

Educação midiática

A seção tem como objetivo que os estudantes desenvolvam as habilidades de:

- refletir sobre as práticas de curtir, comentar e compartilhar *posts* nas redes sociais e suas consequências.
- analisar conteúdos sobre saúde nas redes sociais e avaliar a responsabilidade de seus autores.
- interpretar aspectos relativos à autoridade, autenticidade e linguagem dos discursos dos influenciadores.
- criar animação sobre credibilidade da informação sobre saúde nas redes sociais.

A respeito das questões iniciais, podem ser levantados os seguintes aspectos.

1. **a.** A personagem associou o esforço à disciplina de fazer atividade física, ter uma alimentação saudável, dormir bem entre outras práticas, à aquisição e manutenção de um "corpo perfeito". Nesse sentido, o resultado imaginado pela personagem para um "corpo perfeito", pode ser apenas o aspecto estético de um corpo bem definido e musculatura aparente. A afirmação reflete o senso comum sobre a aparência física esperada pela sociedade.

   b. A partir da discordância entre as personagens sobre o que é um corpo perfeito, o autor transmite a ideia de que isso não é um consenso, visto que um dos personagens assume que a aparência física é um critério relevante para a perfeição, ao passo que a funcionalidade do corpo é o critério relevante para a outra personagem.

2. Ao curtir, comentar ou compartilhar conteúdos estamos contribuindo para aumentar sua visibilidade nas redes sociais. Se o conteúdo for confiável e relevante, essas ações contribuem para ampliar o acesso de outras pessoas a informações que podem trazer benefícios à vida de quem o acessa. Caso contrário, estamos colaborando com a disseminação de conteúdos prejudiciais.

3. Refletir antes de reagir aos conteúdos, sobretudo os conteúdos divertidos, cujo humor pode encobrir alguma situação negativa, como maus-tratos, discursos de ódio e preconceituosos ou incentivo a atitudes de risco. Podemos ainda denunciar conteúdos danosos à própria plataforma e simplesmente deixar de seguir pessoas que não demonstram uma conduta ética em seus conteúdos.

No tópico **Ampliação de repertório**, algumas características esperadas para cada uma das categorias analisadas pelos estudantes são apresentadas a seguir.

Autoridade

- Formação acadêmica pertinente ao tema explorado pelo(a) influenciador(a). Exemplo: um nutricionista que fale sobre emagrecimento.
- Conteúdos em que demonstra conhecimentos pertinentes à sua área (ainda que, em um primeiro momento, não se tenha certeza de sua confiabilidade). Exemplo: resposta a perguntas de seguidores sobre temas técnicos de sua área.
- O que o(a) influenciador(a) afirma sobre si mesmo(a) e que endosse sua credibilidade. Exemplos: alto número de pessoas que alegam terem tido bom resultado com seus métodos de trabalho.

Autenticidade

- Jeito espontâneo de se expressar, que pode ser caracterizado tanto pela informalidade quanto pela formalidade, desde que esses elementos sejam centrais na identidade do(a) influenciador(a)
- Mostrar a vida pessoal aproxima o(a) influenciador(a) do público, que não se mostra apenas como especialista, mas como uma pessoa comum, que tem uma vida para além dos temas de trabalho.
- Aspectos associados à aparência física e ao tema do seu interesse. Exemplo: pessoa com corpo de atleta e que fala sobre atividade física demonstra autenticidade, uma vez que a aparência está condizente ao estilo de vida que divulga.

Linguagem

- Pode-se recorrer ao humor, a danças, a encenações, dentre outras possibilidades, desde que elas ajudem os(as) influenciadores(as) a transmitirem suas mensagens com criatividade e clareza, engajando seus públicos.
- Também é possível lançar mão da ambientação, em vídeos e imagens em que os(as) influenciadores(as) estão em seus consultórios, clínicas de estética, academias e supermercados, entre outros lugares que reforcem a prática do(a) influenciador(a) em saúde.

Os aspectos relacionados à autenticidade e à linguagem reforçam a confiança do público pela proximidade que estabelecem ao mostrarem que não são apenas especialistas, mas também pessoas que aplicam no dia a dia o que pregam.

As consequências benéficas são o estímulo à adoção de um estilo de vida mais saudável e a disseminação de mais informação sobre saúde e bem-estar. Por outro lado, os seguidores podem ter a falsa sensação de que as dicas que os influenciadores transmitem são suficientes, e não recorrem a profissionais de saúde para acompanhá-los de forma personalizada, ainda que os influenciadores, vez ou outra, reforcem a importância de contar com apoio especializado.

No tópico **Produção de conteúdo**, espera-se que os grupos abordem na animação ao menos duas perspectivas relacionadas ao que foi trabalhado na seção: (1) O que faz um influenciador da área da saúde ter credibilidade; e (2) Como se relacionar de forma crítica e responsável com conteúdo das redes sociais sobre o assunto. Caso entenda que a produção de uma animação pode ser complexa e demorada, a proposta pode ser substituída por uma história em quadrinhos ou um vídeo criativo em que os estudantes abordem essas questões, ainda que de modo sucinto.

A **Autoavaliação**, ao final da seção, apresenta alguns critérios para a autoavaliação dos estudantes. Caso considere pertinente, monte uma tabela de rubricas considerando os níveis de desempenho: avançado, adequado, satisfatório e insuficiente

para cada um dos critérios sugeridos. Sugerimos a referência suplementar: MENDONÇA, A. P.; COELHO, I. M. W. da S. Rubricas e suas contribuições para a avaliação de desempenho de estudantes. *In*: SOUZA, A. C. R. de *et al*. **Formação de professores e estratégias de ensino:** perspectivas teórico-práticas. Curitiba: Appris, 2018. p. 109-125.

UNIDADE 6 MUNDO TECNOLÓGICO

O desenvolvimento da ciência e tecnologia é um dos pilares da sociedade moderna e tem impacto direto na maneira como nos relacionamos, vivemos e interagimos com o mundo. Nessa perspectiva, o estudo de conceitos próprios das ciências que estão estritamente relacionados com os avanços atuais tem considerável importância no processo de ensino-aprendizagem dos estudantes. Ao longo da unidade serão abordadas temáticas como nanociência, corrosão, adulteração de combustíveis, alimentos e bebidas, equilíbrio heterogêneo e técnicas de separação de misturas.

Pense nisso!

1. A resposta dos estudantes vai depender dos seus conhecimentos prévios. Aqui estão algumas possibilidades relacionadas ao cotidiano:

   Protetores solares: "Nos protetores solares modernos muitas vezes são usadas nanopartículas de dióxido de titânio ou óxido de zinco. Essas partículas são tão pequenas que conseguem proteger a pele dos raios UV."

   Telas de *smartphones*: "A nanotecnologia é usada para melhorar a durabilidade e a resistência a arranhões das telas dos *smartphones*."

   Roupas esportivas: "Em algumas roupas esportivas é usada a nanotecnologia para torná-las mais leves, respiráveis e resistentes à água."
2. Espera-se que os estudantes respondam que a esponja de aço enferruja por causa do contato permanente com a água e o gás oxigênio presente no ar atmosférico. Como alternativa para prolongar a vida útil do material, eles podem mencionar o uso do aço inoxidável como matéria-prima na fabricação da esponja, ou no âmbito doméstico, manter a esponja de aço em local seco após o uso.
3. O teste funciona com base na formação de uma mistura heterogênea ao se adicionar água à gasolina e na maior afinidade do etanol pela água. É esperado que os estudantes infiram que a água e a gasolina não são miscíveis, formando uma mistura heterogênea em que a água, por ser mais densa que a gasolina, ocupa a parte de baixo do recipiente de teste. A adição de água à mistura leva à transferência do etanol para a fase aquosa, aumentando o seu volume em comparação à água adicionada inicialmente. Essa variação de volume é proporcional à quantidade de etanol presente no combustível, permitindo que se avalie se a mistura está de acordo com os padrões exigidos.
4. Espera-se que os estudantes compreendam que o desenvolvimento científico e tecnológico, além de permitir o desenvolvimento de novos medicamentos, permite realizar análises para: determinar a composição química das substâncias presentes nos medicamentos; verificar se a quantidade do princípio ativo é aquela indicada na bula; e avaliar se há contaminantes indesejados. Assim, o uso de um medicamento pode ser realizado de forma mais segura e eventuais fraudes podem ser constatadas, minimizando os riscos ao consumidor.

Capítulo 21 Nanociência

Neste capítulo, conceitos da nanociência serão abordados com base em uma visão histórica e atual, compreendendo eventos passados e perspectivas futuras de aplicações e usos dessa ciência que impactam e impactarão nossa sociedade.

Objetivos de aprendizagem

Espera-se que, ao término deste capítulo, o estudante seja capaz de:

- conhecer alguns aspectos históricos do desenvolvimento da nanotecnologia.
- elencar aplicações dos nanomateriais a partir das suas propriedades específicas.
- associar as características estruturais à mudança de propriedades físico-químicas dos nanomateriais.
- avaliar os impactos econômicos, socioambientais e no bem-estar decorrentes do desenvolvimento da nanotecnologia.
- avaliar as vantagens e as limitações associadas à aplicação dos nanomateriais.

Por dentro da BNCC

- **Competências gerais**: 1, 3, 6, 7, 8 e 9
- **Habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias**: EM13CNT101, EM13CNT103, EM13CNT104, EM13CNT106, EM13CNT203, EM13CNT303, EM13CNT306 e EM13CNT307
- **Temas contemporâneos transversais**: Ciência e tecnologia, Saúde e Trabalho

Sugestões didáticas

Para a abordagem desse capítulo, sugerimos a utilização do método *jigsaw* de aprendizagem cooperativa para o ensino do conteúdo. Instruções mais específicas sobre o método podem ser encontradas no artigo: LEITE, I. S. *et al*. Uso do método cooperativo de aprendizagem *Jigsaw* adaptado ao ensino de nanociência e nanotecnologia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, n. 4, p. 4.504, 2013. Disponível em: https://www.scielo.br/pdf/rbef/v35n4/a15v35n4.pdf. Acesso em: 29 set. 2024.

Inicie a aula solicitando aos estudantes que respondam às perguntas a seguir: "Vocês já ouviram falar de nanotecnologia antes de assistir a esse vídeo? Em quais lugares?"; "Vocês imaginavam que existiam materiais tão pequenos?".

Ao abordar o tópico "Breve histórico dos nanomateriais", explore com os estudantes o objeto romano denominado cálice de Licurgo. Além de evidenciar o uso de nanopartículas na composição de materiais desde tempos remotos, ao abordar aspectos da cultura romana antiga por meio da análise de objetos, favorece-se o desenvolvimento da **competência geral 3**.

Ao abordar o tópico "Estrutura e características dos nanomateriais", retome o conceito de tamanho crítico e deixe claro que os nanomateriais apresentam ao menos uma dimensão abaixo desse valor. No caso dos nanofios, por exemplo, basta que apenas sua espessura seja menor que o tamanho crítico. É importante

que os estudantes tenham em mente que materiais de diferentes composições apresentam tamanhos críticos diferenciados.

Cite o uso de nanomateriais como catalisadores em células a combustível; caso considere necessário, mencione que a principal diferença entre uma célula a combustível e uma bateria é que a segunda armazena energia na forma de reagentes químicos e, quando esses reagentes são consumidos totalmente, a bateria para de funcionar. Essa discussão permite o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT106**.

Proposta de avaliação

A avaliação da aprendizagem pode ser realizada, em caráter formativo, por meio das diferentes atividades propostas ao longo do capítulo. A seção **Atividades de fechamento**, ao final do capítulo, visa avaliar a aprendizagem dos estudantes em relação aos principais conteúdos abordados, incluindo questões de vestibular, a fim de preparar os estudantes para exames de larga escala.

Resoluções e comentários

Aplique e registre

1. **a.** Falsa. O tamanho das partículas de um material pode alterar sua coloração.

b. Falsa. As nanopartículas de magnetita apresentam propriedades hidrofóbicas e, por isso, podem ser utilizadas na limpeza de vazamentos de substâncias apolares, como petróleo, e não de substâncias polares, como o etanol.

c. Verdadeira. As partículas nanométricas devem apresentar, em pelo menos uma de suas dimensões, entre 1 nm e 100 nm, sendo que 1 nm equivale a 10^{-9} m.

2. Os ânions BH_4^- têm a função de estabilizar as nanopartículas de prata, evitando que elas se agreguem e formem partículas maiores. Devido à repulsão eletrostática entre os ânions de BH_4^-, as nanopartículas de prata permanecem em escala nanométrica.

3. Alternativa **a**. Segundo o texto, os nanocristais agem sob ação da luz solar para decompor as partículas de sujeira. Então, em um ambiente fechado e escuro, esta ação será reduzida, diminuindo a eficiência. Essa atividade favorece o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT307**.

Em foco

1. Separação magnética. Essa atividade favorece o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT303**.

2. Não, pois o etanol apresenta grande afinidade com a água pois ambas são completamente miscíveis em qualquer proporção. Como as nanoesponjas são materiais hidrofóbicos, ou seja, apresentam baixa afinidade pela água, a afinidade pelo etanol também seria baixa.

3. 1 barril ——— 160 L

$4 \cdot 10^6$ barris ——— x

$\therefore x = 640 \cdot 10^6$ L $= 640 \cdot 10^9$ mL de petróleo

1 mL petróleo ——— 0,85 g

$640 \cdot 10^9$ mL ——— y

$\therefore y = 544 \cdot 10^9$ g de petróleo

1 g nanopartícula ——— 6 g de petróleo

z ——— $544 \cdot 10^9$ g de petróleo

$\therefore z \simeq 90{,}6 \cdot 10^9$ g $= 90{,}6 \cdot 10^3$ toneladas

4. O estudante deve relacionar o resultado de sua pesquisa ao **ODS 14**. Para elaborar a linha do tempo, indicamos o uso se aplicativos, como os indicados em: VEJA 5 aplicativos para criar linhas do tempo em suas apresentações. Educa + Brasil. Disponível em: https://www.educamaisbrasil.com.br/educacao/dicas/veja-5-aplicativos-para-criar-linhas-do-tempo-em-suas-apresentacoes. Acesso em: 29 set. 2024. Essa atividade mobiliza parcialmente a habilidade **EM13CNT306**.

Trabalho e juventudes

1. A atividade empreendedora não está relacionada apenas a ganhos financeiros porque vai além da simples busca por lucro. Pela leitura e compreensão do texto, os estudantes poderão perceber que empreender é uma atividade que abrange a criação de valor de diversas formas, incluindo inovação, criatividade, impacto social e desenvolvimento pessoal. Empreender é também buscar soluções para contribuir para a comunidade, promovendo mudanças positivas e transformação social. O entendimento sobre o que é empreender permite trabalhar a **competência geral 6**, o **ODS 8**, no contexto do **TCT Trabalho**.

2. Por meio de educação empreendedora e programas de capacitação em escolas e institutos, para que os jovens desenvolvam competências e habilidades ligadas ao empreendedorismo e sejam também capacitados tecnicamente; oferecimento de financiamento para o início do projeto; oferecimento de centros de apoio para assessoria em negócios; promoção de feiras e eventos para proporcionar o contato entre jovens empreendedores e possíveis investidores; entre outros. Essa questão, além de trabalhar a **competência geral 6**, está diretamente relacionada ao **ODS 8**, em especial à meta 8.3.

3. Embora seja uma resposta pessoal e que alguns estudantes possam dizer que não existe essa possibilidade (um jovem empreendedor ser inspiração para outros), é esperado que eles percebam que, independentemente de sucesso financeiro, ser o exemplo de uma pessoa empreendedora na própria comunidade mostra capacidade, coragem e determinação para assumir papéis de liderança e protagonismo, podendo servir de incentivador para outras pessoas.
Ao discutir essa questão com os estudantes, procure acolher as diferentes manifestações, seja a resposta "sim", seja "não" para a primeira pergunta, mas sempre incentivando-os a elaborar uma argumentação para defender seus pontos de vista, além de estimular o exercício da empatia, da escuta e do diálogo entre toda a turma. Essa questão permite mobilizar as **competências gerais 6**, **7** e **9**, bem como o **ODS 8**.

4. Resposta pessoal. A atividade busca incentivar os estudantes a olhar para a própria realidade e relacionar o que foi visto nesta seção sobre o empreendedorismo juvenil com o protagonismo que podem exercer na comunidade em que vivem. Você pode incentivá-los a buscar exemplos de jovens empreendedores, locais ou não, para servir de inspiração. Ao desenvolver essa atividade, diversas competências socioemocionais poderão ser trabalhadas, como o autoconhecimento, a definição de metas, o planejamento, a organização, a tomada de decisões responsáveis e a cooperação mútua, mobilizando as **competências gerais 6**, **7**, **8** e **9**.

Atividades de fechamento

1. A pesquisa de base, como a teoria atômica de Dalton, é crucial para o desenvolvimento tecnológico e da própria ciência, pois estabelece conhecimentos fundamentais que permitem futuras inovações. A compreensão dos modelos atômicos, por exemplo, foi essencial para avanços em áreas como a nanotecnologia e a engenharia de materiais, mostrando que ideias teóricas podem levar a importantes progressos. Essa atividade favorece o desenvolvimento da **competência geral 1** e das habilidades **EM13CNT101** e **EM13CNT303**.

2. Alternativa **e**.

a. Incorreto.

$$\frac{\text{Diâmetro (fio de cabelo)}}{\text{Diâmetro (nanotubo de carbono)}} = \frac{100.000\ \text{nm}}{10\ \text{nm}} = 10.000$$

Um nanotubo de carbono é 10 mil vezes mais fino que um fio de cabelo.

b. Incorreto. Considerando que o diâmetro do fio de cabelo mede aproximadamente 100.000 nm, calcula-se a quantidade de átomos enfileirados para compor o diâmetro.

Átomos enfileirados		Comprimento
10 átomos	———	1 nm
x	———	100.000 nm

$x = 1.000.000$ de átomos

O diâmetro de um fio de cabelo equivale a 1 milhão de átomos enfileirados.

c. Incorreto.

Escala em micrômetro		Escala em nanômetro
10 μm	———	10.000 nm
1 μm	———	y

$y = 1.000$ nm

Um micrômetro (1 μm) equivale a 1.000 nanômetros.

d. Incorreto.

$$\frac{\text{Dimensão (hemácias)}}{\text{Dimensão (DNA)}} = \frac{10.000\ \text{nm}}{100\ \text{nm}} = 100$$

As hemácias são cerca de cem vezes maiores do que as moléculas de DNA, que, segundo o texto, apresentam tamanho equivalente ao de um vírus. Por isso, as hemácias são aproximadamente cem vezes maiores que um vírus.

e. Correto. O diâmetro do fio de cabelo mede aproximadamente 100.000 nm. Sabemos que 1 μm equivale a 1.000 nm, logo:

Escala em micrômetro		Escala em nanômetro
10 μm	———	10.000 nm
z	———	100.000 nm

$z = 100$ μm

O diâmetro de um fio de cabelo tem cerca de 100 μm.

3. Alternativa **d**. Em função de suas dimensões, as nanopartículas podem atravessar poros e canais celulares. Como os dados toxicológicos ainda são escassos, isso poderia causar impactos desconhecidos nos seres vivos e até casos de bioacumulação. Além disso, suas propriedades, como elevada área superficial, podem levar a uma maior reatividade das nanopartículas com substâncias do ambiente. Essa atividade favorece o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT104**, **EM13CNT203** e **EM13CNT307**.

4. O agente redutor que está na superfície das nanopartículas de prata reage com os íons Ag^+ adicionados, reduzindo a repulsão eletrostática entre as nanopartículas. Assim, elas se agregam e formam partículas maiores. Como o tamanho das partículas influencia suas propriedades ópticas, ao mudar o tamanho dos agregados, a cor da solução também se alterou.

5. **a.** A síntese é do tipo *bottom-up*, pois parte de uma solução formada com íons tetracloroplatinato(II) ($PtC\ell_4^{2-}$) que são reduzidos, formando platina metálica (Pt). Os átomos de platina se agregam para formar a nanopartícula. Assim, o processo parte de partículas menores do que as nanopartículas formadas ao final do processo.

b. As nanopartículas são formadas pela platina na forma metálica, cujo número de oxidação é zero. Dessa forma, o tetracloroplatinato(II) de potássio ($K_2PtC\ell_4$) é o precursor da platina, que apresenta número de oxidação +2. Já o boro-hidreto de sódio ($NaBH_4$) é o agente redutor ao mesmo tempo que possibilita a repulsão eletrostática entre as nanopartículas, estabilizando-as em meio líquido. Essa atividade favorece o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT101**.

6. **a.** A funcionalização pode ser definida como um processo químico ou físico que introduz espécies químicas em uma superfície com o objetivo de alterar as propriedades de um material, conferindo alguma característica importante para a aplicação desse material.

b. Seriam espécies químicas que fazem com que a superfície do material apresente propriedades desfavoráveis à aplicação de interesse.

7. **a.** Radiação eletromagnética na faixa de 650–950 nm apresenta a maior penetração, alcançando cerca de 3 mm de profundidade. Essa atividade está inserida no **TCT Saúde** e no **TCT Ciência e tecnologia**, e favorece o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT103**.

b. Um dos fatores a ser considerado é em qual das camadas do tecido se deseja liberar o medicamento. Caso o medicamento tenha que agir em alguma parte da derme, o nanocarreador a ser sintetizado deve ser ativado por radiação com comprimento de onda na faixa de 475–1.200 nm. Além disso, o nanocarreador pode ser funcionalizado a fim de interagir preferencialmente com o alvo. A funcionalização pode também ser empregada para aumentar a eficiência na captação da radiação pela nanopartícula.

Capítulo 22 Proteções contra corrosão e os processos eletrolíticos

O capítulo explora os fenômenos da corrosão dos metais e os procedimentos tecnológicos usados para evitá-la, como as proteções anódica e catódica. Além disso, aborda os processos eletroquímicos, como a eletrólise ígnea e aquosa, mostrando como esses fenômenos estão diretamente ligados à proteção contra a corrosão.

Objetivos de aprendizagem

Espera-se que, ao término deste capítulo, o estudante seja capaz de:

- reconhecer e representar reações de oxirredução associando-as a transferências de elétrons e variações de nox.
- descrever o processo de corrosão.
- elencar impactos causados pela corrosão.
- propor soluções para os problemas causado pela corrosão.
- avaliar a tendência de corrosão com base nos valores de potenciais das possíveis reações envolvidas no processo.
- identificar e prever agentes redutores e oxidantes nas transformações químicas, além de cátodo e ânodo em células eletrolíticas.
- reconhecer os aspectos quantitativos e qualitativos da eletrólise para avaliar suas implicações ambientais e econômicas.

Por dentro da BNCC

- **Competências gerais:** 1, 7 e 9
- **Habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias:** EM13CNT101, EM13CNT104, EM13CNT106, EM13CNT205, EM13CNT301, EM13CNT303 e EM13CNT307
- **Tema contemporâneo transversal:** Ciência e tecnologia

Sugestões didáticas

Inicie retomando os conceitos sobre reações de oxirredução, que são fundamentais para entender os processos apresentados nesse capítulo. Depois, peça aos estudantes que se dividam em duplas e respondam às questões: "O número de oxidação de um elemento é o mesmo que a carga do íon monoatômico desse elemento?"; "As reações de oxirredução podem ser identificadas pela presença do gás oxigênio na reação?"; "Os processos de oxidação e redução ocorrem independentemente?"; "As mudanças nas cargas de espécies poliatômicas indicam a ocorrência de uma reação de oxidação?"; "A carga de uma espécie poliatômica indica o nox da molécula?" e "Em uma reação, mudanças nas cargas de espécies poliatômicas podem ser usadas para determinar o número de elétrons removidos ou os ganhos pelas espécies reativas?".

Em seguida, permita que os estudantes exponham as respostas. Anote as ideias-chave na lousa. Elas podem ajudar a nortear o estudo desse capítulo. Ao longo do capítulo permita que as duplas sejam mantidas, alternando ciclos de estudo extraclasse e resolução de exercícios em sala. Essa abordagem contribui para o desenvolvimento das **competências gerais 1**, **7** e **9** bem como das habilidades **EM13CNT101**, **EM13CNT104**, **EM13CNT106** e **EM13CNT307**.

Para abordar o tópico "Proteção contra corrosão", mencione que a corrosão do ferro pode ser destrutiva a ponto de causar desastres. Pode ser citado o caso da aeronave da Aloha Airlines que, em 28 de abril de 1988, estava voando a uma altitude de 7.300 m quando uma grande parte da fuselagem superior descolou. Esse acidente foi causado por danos por corrosão não detectados. Esse contexto se insere no **TCT Ciência e tecnologia**, e possibilita o trabalho com a seção **Em foco**, sobre revestimentos autorreparadores. Assim, contribui-se para o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT106**, **EM13CNT303** e **EM13CNT307**, bem como dos **ODS 9** e **11**.

Proposta de avaliação

A avaliação da aprendizagem pode ser realizada, em caráter formativo, por meio das diferentes atividades propostas ao longo do capítulo. A seção **Atividades de fechamento**, ao final do capítulo, visa avaliar a aprendizagem dos estudantes em relação aos principais conteúdos abordados, incluindo questões de vestibular, a fim de preparar os estudantes para exames de larga escala.

Resoluções e comentários

Aplique e registre

1. O ferro não forma camada de passivação, assim, ele depende de aplicação de recobrimentos que impeçam o contato da estrutura metálica com o gás oxigênio e com água, ou seja, tintas impermeáveis à água ou que contenham pigmentos que formam compostos insolúveis em água, como fosfato e zinco, $Zn_3(PO_4)_2$.

2. Alternativa **e**. Para proteger o alumínio da oxidação, deve-se associá-lo a um metal de maior potencial de oxidação. Dentre os metais citados na tabela, para substituir o magnésio, poderiam ser usados os metais lítio e potássio. Essa atividade promove o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT101** e **EM13CNT307**.

3. Alternativa **a**. O alumínio é um metal obtido a partir da eletrólise da bauxita, um minério que contém óxido de alumínio. Outro nome para eletrólise é eletrometalurgia. Essa atividade promove o desenvolvimento da **competência geral 1** e da habilidade **EM13CNT106**.

4.

Combinação	Massa de $A\ell$ (g)	Carga (C)	Corrente (A)	Tempo (s)
A	135	1.447.500	2	723.750
B	0,45	4.825	50	96,5
C	9	96.500	5	19.300

Combinação A

$A\ell^{3+}$ + 3 e^- → $A\ell$

3 · 96.500 C ——— 27 g de $A\ell$

x ——— 135 g de $A\ell$

$\therefore x = 1.447.500$ C

$t = \frac{Q}{i} = \frac{1.447.500\text{ C}}{2\text{ A}} = 723.750$ s

Combinação B

$A\ell^{3+}$ + 3 e^- → $A\ell$

3 · 96.500 C ——— 27 g de $A\ell$

4.825 C ——— x g de $A\ell$

$\therefore x = 0,45$ g

$i = \frac{Q}{t} = \frac{4.825\text{ C}}{96,5\text{ s}} = 50$ A

Combinação C

$i = \frac{Q}{t} \Rightarrow Q = i \cdot t = 5 \cdot 19.300 = 96.500$ C

$A\ell^{3+}$ + 3 e^- → $A\ell$

3 · 96.500 C ——— 27 g de $A\ell$

96.500 C ——— x g de $A\ell$

$\therefore x = 9$ g

5. Ordem crescente de durabilidade: C < D < B < A

Os pregos A e B não formam reações espontâneas de oxirredução (pilhas) e, pela tabela de potenciais-padrão de redução, o cobre que se encontra na parte externa não reage com ácido, protegendo o ferro do prego. Já o prego B de zinco reage com ácido, sendo consumido ao longo do tempo até expor o ferro do prego ao ataque do ácido.

Nos pregos C e D os pares de metais estão expostos ao ácido e formam reações espontâneas de oxirredução (pilhas). Pela tabela de potenciais-padrão de redução, o ferro é o ânodo no prego C, mas é o cátodo no prego D. Assim, mesmo havendo oxidação do zinco, ele protege o ferro (ânodo de sacrifício) da ação do ácido até ser consumido completamente. Já no prego C, como o cobre não reage com o ácido, o ferro será oxidado preferencialmente. Essa atividade promove o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT101**.

6. Como se deseja que ocorra deposição de zinco metálico sobre a placa de ferro, ela necessariamente deve estar no cátodo da célula eletrolítica, pois lá deve ocorrer a seguinte semirreação:

$Zn^{2+}(aq) + 2\ e^- \rightleftharpoons Zn(s)$

2 mol de e^- ——— 1 mol de Zn

0,5 mol de e^- ——— x

$\therefore x = 0,25$ mol de Zn

1 mol de Zn ——— 65,4 g de Zn

0,25 mol de Zn ——— y

$\therefore y = 16,35$ g de Zn

7. A diferença entre as massas inicial e final da colher corresponde à massa de crômio que pode ser depositada: 61,5 g – 55 g = 6,5 g

A reação de redução do crômio pode ser representada pela equação: $Cr^{3+} + 3\,e^- \longrightarrow Cr$. Cada mol de crômio produzido está associado ao consumo de três mols de elétrons. Assim, tem-se:

$3 \cdot 96.500\ C$ ——— 52 g de Cr

x ——— 6,5 g de Cr

$\therefore x = 36.187,5\ C$

$Q = i \cdot t \Rightarrow 36.187,5 = 250 \cdot t \Rightarrow t = 36.187,5\ C/250\ A$

$\therefore t = 144,75\ s \simeq 145\ s$

Em foco

1. As principais vantagens econômicas e práticas incluem a redução da frequência de manutenção das estruturas pintadas, economizando tempo, esforços e recursos financeiros. Além disso, o uso de microcápsulas com inibidores de corrosão não é caro, o que torna essa tecnologia atraente para o mercado.
2. Alternativa **c**. Essa atividade promove o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT303**.
   - **a.** Errada. As microcápsulas só são liberadas quando há algum dano à superfície.
   - **b.** Errada. As microcápsulas, geralmente, apresentam paredes poliméricas, não metálicas.
   - **c.** Correta.
   - **d.** Errada. A capacidade de armazenamento da microcápsula é limitada e não comporta material suficiente para reparar estruturas de alvenaria.
3. O encapsulamento de inibidores de corrosão é importante porque permite que o agente reparador seja liberado apenas na presença de danos, evitando reações indesejadas antes de seu uso. Isso aumenta a durabilidade e a eficácia dos revestimentos.
4. Alternativa **a**. O polietileno é um polímero e as microcápsulas são feitas de materiais poliméricos.

Atividades de fechamento

1. **a.** Redução ($\Delta Nox = -4$)

   $\overset{+4}{Sn}O_2(s) + 2\,H_2(g) \longrightarrow \overset{0}{Sn}(s) + 2\,H_2\overset{+1}{O}(g)$

   Oxidação ($\Delta Nox = 1$)

   b. O hidrogênio gasoso constitui atmosfera redutora, pois promove a redução dos cátions estanho a estanho metálico.

2. **a.** A equação não balanceada com os respectivos Nox dos elementos químicos é dada por:

   Redução ($\Delta Nox = -3$)

   $\overset{+3}{Nd}C\ell_3 + \overset{0}{Ca} \longrightarrow \overset{0}{Nd} + Ca\overset{+2}{C}\ell_2$

   Oxidação ($\Delta Nox = 2$)

   Para igualar as quantidades de elétrons cedidos e recebidos, basta atribuir o coeficiente 2 à espécie $NdC\ell_3$ e o coeficiente 3 à espécie Ca. Por fim, fazemos o balanço de massa:

   $2\,NdC\ell_3 + 3\,Ca \rightarrow Nd + 3\,CaC\ell_2$

   b. O agente redutor é o cálcio metálico, e o agente oxidante é o cloreto de neodímio(III).

3. **a.** No cátodo, pois este é o eletrodo em que ocorre a redução.

   b. O processo é mais eficiente para o cobre, pois, comparando-se a variação das concentrações após cerca de 70 minutos, que corresponde ao tempo necessário para estabilização das curvas, o rendimento de cobre metálico é de 100%, enquanto o de estanho metálico é de aproximadamente 25%, restando íons em solução. Essa atividade promove o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT205**.

4. **a.** A semirreação que descreve a redução dos íons cobre(II) a cobre metálico é representada a seguir.

   $Cu^{2+}(aq) + 2\,e^- \rightarrow Cu(s)$

   Para formar 1 mol de cobre metálico, são necessários 2 mol de elétrons. Assim, para formar 0,05 mol de cobre é preciso:

   1 mol de Cu ——— 2 mol de e^-

   0,05 mol de Cu ——— $n(e^-)$ ⎫ $n(e^-) = 0,10$ mol

   $\therefore n(e^-) = 0,10$ mol

   Cada pilha fornece $5,0 \cdot 10^{-3}$ mol de elétrons, sendo necessárias 20 pilhas para depositar 0,05 mol de cobre metálico.

   b. A massa molar de cobre é 63,5 g mol^{-1}; assim, a massa de 0,05 mol de cobre depositado é:

   $63,5\ g\ mol^{-1} \cdot 0,05\ mol = 3,175\ g$

5. As semirreações de redução de V^{3+} e V^{2+} são, respectivamente,

   $V^{3+}(aq) + 3\,e^- \rightarrow V(s)$

   $V^{2+}(aq) + 2\,e^- \rightarrow V(s)$

   Ou seja, a quantidade de elétrons para produzir vanádio metálico a partir de íons vanádio(III) é maior, comparada à reação com íons vanádio(II). Assim, sob as mesmas condições, como a quantidade de carga elétrica empregada no processo, ocorre a produção de uma massa maior de vanádio metálico a partir da solução de V^{2+}.

6. Alternativa **a**. Possibilidades no cátodo: $K^+(aq)$ e $H_2O(\ell)$. A prioridade de descarga é da $H_2O(\ell)$. Assim, a reação que ocorre é:

   $2\,H_2O(\ell) + 2\,e^- \rightarrow H_2(g) + 2\,OH^-(aq)$

   Além da liberação de gás hidrogênio, o aumento da concentração de íons $OH^-(aq)$ promove o aparecimento da coloração rósea próximo ao cátodo.

   Possibilidades no ânodo: $I^-(aq)$ e $H_2O(\ell)$. A prioridade de descarga é do $I^-(aq)$. Assim, a reação que ocorre é:

   $2\,I^-(aq) \rightarrow I_2(s) + 2\,e^-$

   A formação de I_2 leva ao aparecimento da coloração azulada próximo ao ânodo.

7. **a.** A estudante quer testar se a consistência ou a viscosidade do meio em que o prego está imerso afetam a rapidez da reação. Essa hipótese é baseada, em nível submicroscópico, na ideia de que a reação depende da mobilidade dos íons em solução, a qual poderia ser diminuída em um meio mais viscoso.

   b. Levando em consideração que o aço é composto principalmente de ferro, temos:

   $2\,Fe(s) + 3\,Cu^{2+}(aq) \rightarrow Fe^{3+}(aq) + 3\,Cu(s)$

   Inicialmente, forma-se ferro(II), que depois é oxidado a ferro(III). Em relação ao sistema II, a reação que ocorrerá será a mesma, pois espera-se que a gelatina adicionada não participe da reação.

   c. Resposta pessoal. Peça que justifiquem quimicamente suas hipóteses e comparem as hipóteses iniciais com os resultados observados. A difusão de gás oxigênio diminui na presença da gelatina e, com isso, reduz a concentração de reagente no meio reacional, diminuindo a rapidez da reação.

d. As etapas a seguir correspondem a uma das possibilidades de respostas que os estudantes podem propor para testar a hipótese levantada.

Em um béquer ou frasco, adicione sulfato de cobre(II) à água e agite com a bagueta até a completa dissolução. Em outro béquer, adicione água à gelatina, aguarde até que fique hidratada e aqueça em fogo brando até sua completa dissolução. Em seguida, adicione o sulfato de cobre(II) e agite novamente até dissolver completamente. Despeje cada uma das soluções em uma placa de Petri diferente. Limpe bem o prego com palha de aço e álcool para remover oxidações e gordura. Quando a solução com gelatina esfriar e começar a ficar viscosa, mergulhe um prego em cada amostra e marque o tempo simultaneamente. Anote as mudanças observadas em intervalos regulares. Essa atividade contribui para o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT301**.

8. Alternativa **a**. Analisando as afirmações, temos:

I. Correta. A redução ocorre no cátodo.

II. Falsa. O grupo OH^- proveniente da ionização da água é que sofre oxidação.

III. Falsa. Conforme o enunciado, os eletrodos são inertes.

IV. Correto. Outra reação possível de oxidação é a da hidroxila:

$$2\ OH^-(aq) \longrightarrow H_2O(\ell) + \frac{1}{2}\ O_2(g) + 2\ e^-$$

V. Falsa.

$32\ min = 1.920\ s + 10\ s = 1.930\ s$

$Q = i \cdot t \Rightarrow Q = 2 \cdot 1.930 = 3.860\ C$

$Zn^{2+} + 2\ e^- \longrightarrow Zn$

$2 \cdot (96.500\ C) \quad \text{———} \quad 65\ g$

$3.860\ C \quad \text{———} \quad x$

$\therefore x = 1,3\ g$

9. Alternativa **d**. Em A, o açúcar dissolvido na água não é um eletrólito, pois não há íons do soluto presentes na solução. Em B, a eletrólise aquosa do ácido sulfúrico gera os gases hidrogênio e oxigênio. Já em C, a eletrólise aquosa do sulfato de cobre(II) produz cobre metálico, que se deposita no cátodo, e gás oxigênio, formado no ânodo.

Capítulo 23 Adulteração de combustíveis, alimentos e bebidas

Este capítulo aborda as propriedades físicas e químicas das misturas e a aplicação desse conhecimento na determinação de adulterações em produtos comerciais, como alimentos, bebidas e combustíveis. Além disso, destaca a importância de conhecer métodos de análise adequados para verificar essas contaminações.

Objetivos de aprendizagem

Espera-se que, ao término deste capítulo, o estudante seja capaz de:

- utilizar as propriedades físicas e químicas características dos sistemas, identificando adulterações em produtos comerciais.
- reconhecer algumas propriedades específicas dos materiais: densidade, temperatura de fusão e de ebulição.
- diferenciar substância de mistura com base nas propriedades físicas.
- compreender o efeito da adição de um soluto não volátil sobre as propriedades das substâncias.
- conhecer métodos e instrumentos de análise das propriedades físicas e químicas dos materiais.
- compreender o significado das diferentes unidades de medidas de concentração.
- calcular a concentração de uma solução após o processo de diluição e por meio de dados experimentais.

Por dentro da BNCC

- **Competências gerais:** 1, 2, 5, 7 e 9
- **Habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias:** EM13CNT104, EM13CNT202, EM13CNT205, EM13CNT301, EM13CNT302, EM13CNT303, EM13CNT306 e EM13CNT307
- **Temas contemporâneos transversais:** Ciência e tecnologia; Cidadania e civismo; Saúde

Sugestões didáticas

Inicie a aula propondo o seguinte caso, que deverá ser analisado pelos estudantes:

"Você e seu grupo são os químicos responsáveis pela parte analítica de um laboratório de análises químicas e receberam duas amostras com suspeita de adulteração. A primeira, uma amostra de etanol comercial, é suspeita de adulteração por adição de metanol ou água, dois líquidos incolores. A segunda, uma amostra de leite comercial, é suspeita de adulteração pela adição de água, para aumentar seu volume, e adição de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) acima das concentrações permitidas pela legislação. Como químicos responsáveis, proponham formas de verificar a adulteração nessas amostras."

Esclareça aos estudantes que a proposta requerida será elaborada em grupo ao longo do capítulo. Para isso, os estudantes podem consultar o Livro do Estudante e outras fontes confiáveis, como os portais da Scielo e da Capes, as revistas **Química Nova na Escola** e **Pesquisa Fapesp**, assim como os *sites* da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa). Esse trabalho favorece o desenvolvimento das **competências gerais 1**, **2**, **7** e **9**, bem como está relacionado ao **TCT Cidadania e civismo**.

Por fim, sugere-se a retomada do estudo de caso e, assim, verificar as estratégias que os grupos usaram para identificar as adulterações no etanol e leite comerciais. A estratégia de avaliação sugerida é a formulação de postagens, em redes sociais, pelos estudantes para conscientização das pessoas sobre a importância dos padrões de qualidade de alimentos, combustíveis e bebidas. Antes de divulgar nas redes sociais, valide as informações produzidas pelos estudantes e só então proceda para a etapa de divulgação. Essa estratégia contribui para o desenvolvimento das **competências gerais 1**, **2**, **5**, **7** e **9**, bem com as habilidades **EM13CNT101**, **EM13CNT104**, **EM13CNT302**, **EM13CNT306**, **EM13CNT307**.

Proposta de avaliação

A avaliação da aprendizagem pode ser realizada, em caráter formativo, por meio das diferentes atividades propostas ao longo do capítulo. A seção **Atividades de fechamento**, ao final do capítulo, visa avaliar a aprendizagem dos estudantes em relação aos principais conteúdos abordados, incluindo questões de vestibular, a fim de preparar os estudantes para exames de larga escala.

Resoluções e comentários

Aplique e registre

1. Como o densímetro está acima do valor especificado, isso permite inferir que a densidade do etanol é maior que o determinado pela legislação. Como a densidade da água é maior que a do etanol, um aumento da densidade do combustível implica presença de uma quantidade de água maior que a permitida por lei. Essa atividade promove o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT205** e **EM13CNT301**.

2. Alternativa **d**. As bolinhas têm densidades diferentes, por isso, elas devem ocupar posições distintas dentro da amostra, o que se verifica na amostra 2.

3. É possível calcular a densidade da amostra tendo os valores da massa e do volume.

$$d = \frac{m}{V} = \frac{194\ g}{200\ mL} = 0{,}97\ g/mL$$

Analisando o gráfico, esse valor de densidade está relacionado a um percentual de 20% de etanol, consequentemente, 80% de água (100% – 20% = 80%).

4. Considerando que o volume da solução é a soma dos volumes de etanol e resíduo aquoso da destilação: 17,5 mL + 130 mL = 147,5 mL

147,5 mL ——— 100%

17,5 mL ——— x

$x \simeq 11{,}9\%$ ou 11,9 °GL

5. 1 L = 1.000 mL. Com uma densidade de 1 g mL^{-1}, 1.000 mL de água tem massa igual a 1.000 g. Assim, temos:

$5 \cdot 10^{-6}$ g de Hg ——— 10^3 g de água

x ——— 10^6 g de água

$x = 5 \cdot 10^{-3}$ g em 1 milhão de gramas de água = $5 \cdot 10^{-3}$ ppm

6. Massa molar de NaOH = 40 g mol^{-1}

1 mol de NaOH ——— 40 g

x ——— 4 g

x = 0,1 mol de NaOH

0,1 mol de NaOH ——— 100 mL

y ——— 1.000 mL

y = 1 mol de NaOH (em 1 L)

A concentração de NaOH na solução estoque é 1 mol L^{-1}. Na diluição, temos:

$C_i \cdot V_i = C_f \cdot V_f \Rightarrow 1\ mol\ L^{-1} \cdot V_i = 0{,}15\ mol\ L^{-1} \cdot 0{,}2\ L \Rightarrow$

$\Rightarrow V_i = 0{,}03$ L ou 30 mL

7. Alternativa **a**. O etilenoglicol é um soluto não volátil cuja adição à água produz uma solução com propriedades físicas diferentes da água pura. Como o etilenoglicol aumenta a temperatura de ebulição e diminui a temperatura de solidificação da mistura quando comparada à água pura, o líquido no radiador não superaquece nem solidifica em temperaturas extremas. Essa atividade promove o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT306** e **EM13CNT307**.

8. As temperaturas de ebulição podem ser ordenadas da seguinte forma: $TE_i < TE_{iii} < TE_{ii}$.

9. Cálculo da quantidade de substância utilizada de NaOH:

0,10 mol de NaOH ——— 1.000 mL

x ——— 30 mL

$x = 3{,}0 \cdot 10^{-3}$ mol de NaOH

Efetuando o balanceamento da equação, tem-se:

$1\ C_6H_8O_7(aq) + 3\ NaOH(aq) \rightleftarrows 1\ Na_3C_6H_5O_7(aq) + 3\ H_2O(\ell)$

Como a proporção estequiométrica entre o ácido cítrico e o hidróxido de sódio é de 1 : 3, tem-se na solução titulada $1{,}0 \cdot 10^{-3}$ mol de ácido cítrico (a terça parte da quantidade de substância de NaOH), presente em 10 mL.

$1{,}0 \cdot 10^{-3}$ mol de $C_6H_8O_7$ ——— 10 mL

y ——— 1.000 mL

y = 0,10 mol de $C_6H_8O_7$

A concentração de ácido cítrico no suco analisado é de 0,10 mol L^{-1}.

10. A quantidade de substância de permanganato presente nos 50 mL gastos é de:

0,192 mol de MnO_4^- ——— 1 L

x ——— 0,05 L

x = 0,0096 mol de MnO_4^-

A proporção estequiométrica da reação é:

2 mol de MnO_4^- ——— 5 mol de H_2O_2

0,0096 mol de MnO_4^- ——— y

y = 0,024 mol de H_2O_2

A massa molar da água oxigenada é de 34 g/mol:

34 g de H_2O_2 ——— 1 mol de H_2O_2

z ——— 0,024 mol de H_2O_2

z = 0,816 g ou 816 mg de H_2O_2

Como o volume de leite analisado foi de 1,0 L, podemos considerar que a concentração de H_2O_2 no leite é de 816 mg L^{-1}, valor um pouco acima do permitido pela legislação.

Em foco

1. Alternativa **d**.

2. Os cientistas observaram que uma solução aquosa de fenol mantida exposta ao ambiente apresentou turbidez, um indicativo de crescimento celular. Logo, como o crescimento dos microrganismos depende de uma fonte de carbono, eles supuseram que essa fonte de carbono poderia ser as moléculas de fenol. Essa atividade abrange os **TCT Saúde** e **Ciência e tecnologia** e pode ser trabalhada de forma interdisciplinar com o componente curricular Biologia. Além disso, ela favorece o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT104**, **EM13CNT202** e **EM13CNT303** e dos **ODS 6** e **11**.

3. 500 ppm correspondem a aproximadamente $5{,}3 \cdot 10^{-3}$ mol L^{-1} de fenol.

500 g de fenol ——— 10^6 g de água ácida

Como a água ácida tem densidade $\simeq$ 1,0 g mL^{-1}, tem-se 10^6 mL ou 1.000 L.

500 g de fenol ——— 1.000 L de água ácida, o que corresponde a 0,5 g L^{-1}.

1 mol de fenol ——— 94 g

x ——— 0,5 g

x = 0,0053 mol (por litro de água ácida)

Na prática

1. É possível perceber que, quando a densidade de uma esfera é maior do que a densidade da água, ela afunda. Em contrapartida, quando a densidade da bolinha é menor do que a densidade da água, ela flutua.

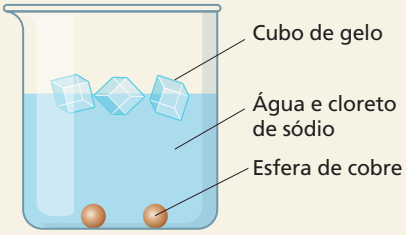
2. Como o líquido é mais denso que todas as bolinhas utilizadas, todas elas flutuarão.
3. Como o líquido é menos denso que todas as bolinhas utilizadas, todas elas afundarão.
4. A densidade seria a mesma, pois, quando o volume da bolinha aumentar, a massa também aumentará na mesma proporção. Dessa forma, a densidade ficará constante. Essa atividade promove o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT301**.

Atividades de fechamento

1. Alternativa **e**. A amostra II apresenta TE de 50 °C na pressão considerada. A amostra I aquece mais rapidamente que as outras, pois sua curva é a mais inclinada, ou seja, a que tem o maior coeficiente angular. Considerando que o enunciado informa que as três amostras estavam no estado sólido em $t = 0$, à temperatura de 50 °C, ainda não ocorreu a passagem para o estado líquido na amostra I. Apenas com os dados apresentados não é possível definir se a amostra I é uma substância ou uma mistura; no entanto, sabe-se que a amostra III é uma mistura, pois não apresenta mudanças de estado à temperatura constante.
2. Como os frascos apresentam o mesmo volume, pode-se afirmar que cada um deles contém volumes diferentes de líquidos: V_1 no frasco I, V_2 no frasco II e V_3 no frasco III.

   Sabendo que cada frasco contém a mesma massa (m) de líquido e, ainda, que o volume de líquido é inversamente proporcional à densidade, podemos inferir que o líquido de maior densidade deve ser aquele com menor volume no frasco.

   Ou seja, o frasco I contém água, o frasco II contém metanol, e o III contém etanol.
3. **a.** Espera-se que os estudantes façam esquemas semelhantes ao apresentado a seguir.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

(Imagem sem escala, cores-fantasia.)

   As esferas de cobre apresentam maior densidade e ficam no fundo da solução aquosa de cloreto de sódio. Já o gelo deve flutuar na solução, uma vez que apresenta menor densidade. Outra característica do sistema é que a solução aquosa deve estar esquematizada de modo que apresente apenas uma fase.

   b. Há três fases no sistema: duas sólidas (uma formada por gelo e a outra pelo cobre) e uma líquida (formada pela solução aquosa de cloreto de sódio). O sistema apresenta três substâncias: água (nas fases sólida e líquida), cloreto de sódio e cobre.

   c. Quando toda a água evaporou, restaram o cloreto de sódio e as esferas de cobre. Logo, o novo sistema apresenta duas fases e duas substâncias.
4. **I.** Verdadeira. Sendo $d = \frac{m}{V}$, para o mesmo valor de massa, a densidade é maior para as substâncias que apresentarem volume menor. O mesmo raciocínio pode ser utilizado para um volume fixo dessas substâncias. Dessa forma, em 10 mL de cada substância, a massa de X é maior que a de Y, que é maior que a de Z. Portanto, a ordem decrescente das densidades é X > Y > Z.

   II. Falsa. Para que duas substâncias apresentem massas iguais ocupando volumes iguais nas mesmas condições de temperatura e pressão, é necessário que tenham mesmo valor de densidade. No entanto, o gráfico mostra que X e Y não apresentam a mesma densidade.

   III. Verdadeira. Sabendo que $d = \frac{m}{V}$, temos no ponto destacado $d = \frac{m}{V} = \frac{5\ g}{10\ mL} = 0{,}5\ g\ mL^{-1}$.
5. Primeiro, calcula-se a massa de glifosato em solução após a diluição:

Massa de glifosato		Volume de solução
0,9 g	———	10^{-3} L
m(glifosato)	———	1 L

$$m(\text{glifosato}) = \frac{0{,}9\ g \cdot 1\ g}{10^{-3}\ g} = 900\ g$$

   Com base no dado da densidade fornecido no enunciado, calcula-se a massa de solução após a diluição:

$C_i V_i = C_f V_f$
$900\ g/L \cdot 1\ L = C_f \cdot 100\ L$
$C_f = 9\ g/L$

   Em seguida, determina-se a massa de herbicida proporcional a 10^6 g de solução, de forma a se obter o valor da concentração em ppm.

Massa de glifosato		Massa da solução
9 g	———	10^3 g
m(glifosato)	———	10^6 g

$$m(\text{glifosato}) = \frac{9\ g \cdot 10^6\ g}{10^3\ g} = 9.000\ g$$

   Logo, a concentração de glifosato aplicada seria de 9.000 ppm e estaria bem acima do limite estipulado pela legislação brasileira. Essa atividade promove o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT104**.
6. Em primeiro lugar, calcula-se a quantidade de substância necessária para preparar 7 L de uma solução de ácido clorídrico de concentração 0,8 mol L^{-1}:

Quantidade de substância de HCℓ		Volume da solução
0,8 mol	———	1 L
n(HCℓ)	———	7 L

$n(HC\ell) = 5{,}6$ mol

   A próxima etapa consiste em calcular a massa de HCℓ que representa 5,6 mol. Utilizando a tabela periódica, podemos calcular a massa molar do HCℓ (36,5 g mol^{-1}). Com o valor da massa molar, temos:
$m = nm = 5{,}6\ mol \cdot 36{,}5\ mol^{-1} = 204{,}4\ g$
   Em seguida, utilizando o valor da fração mássica de ácido clorídrico na solução estoque, podemos calcular a massa da solução necessária:

Massa de solução		Massa de HCℓ
100 g	———	37,5 g
m(solução estoque)	———	204,4 g

m(solução estoque) = 545,1 g

   Finalmente, utilizando o valor da densidade, calculamos o volume necessário de solução estoque para preparar a solução requerida:

$$V = \frac{m}{d} = \frac{545{,}1\ g}{1{,}2\ g\ cm^{-3}} = 454{,}2\ cm^{-3}$$

A unidade de volume em cm^3 é equivalente ao mL; dessa forma, o volume necessário para fazer a solução requerida é de 454,2 mL de ácido clorídrico concentrado.

7. Primeiro, deve-se calcular o volume de etanol presente na bebida:

$V(\text{etanol}) = V(\text{solução}) \cdot 5\% \Rightarrow V(\text{etanol}) = 300\ \text{mL} \cdot 0{,}05$

$\therefore V(\text{etanol}) = 15\ \text{mL}$

Em seguida, utiliza-se a densidade do etanol na temperatura informada para se obter a massa da substância ingerida. Conforme dados da tabela "Densidade de misturas de água e etanol", $d(\text{etanol}) = 0{,}78934\ \text{g mL}^{-1}$. Assim,

$m = d \cdot V \Rightarrow m(\text{etanol}) = 0{,}78934\ \text{g mL}^{-1} \cdot 15\ \text{mL}$

$\therefore m(\text{etanol}) \simeq 12\ \text{g}$

Depois, determina-se a massa de etanol que a pessoa consegue eliminar por hora considerando

$$m(\text{etanol})_{\text{metabolizado}} = \frac{0{,}2\ \text{g} \cdot 70\ \text{kg}}{1\ \text{kg}} = 14\ \text{g}$$

Por fim, calcula-se o tempo necessário para eliminar a quantidade de etanol ingerida:

Tempo de metabolização		Massa de etanol
60 min	———	14 g
t	———	12 g

$\therefore t \simeq 51$ min

8. As soluções indicadas apresentam diferentes medidas de molalidade, e cada soluto apresenta um diferente fator de van't Hoff.

Para a solução de cloreto de sódio:

$$b = \frac{n}{m} = \frac{3\ \text{mol}}{1\ \text{kg}} = 3\ \text{mol kg}^{-1}$$

$i = 2$

Para a solução de glicose:

$$b = \frac{n}{m} = \frac{5\ \text{mol}}{1\ \text{kg}} = 5\ \text{mol kg}^{-1}$$

a. Como o aumento da temperatura de ebulição é proporcional à molalidade corrigida pelo fator de van't Hoff, $\Delta T = K_e bi$, e a constante ebulioscópica é a mesma nas duas soluções, o valor de ΔT é maior na solução de $NaC\ell$, $6K_e$, enquanto para a glicose o valor de ΔT é $5K_e$. Assim, a solução de cloreto de sódio apresentará maior temperatura de ebulição.

b. A solução de glicose terá maior temperatura de congelamento; em outras palavras, o índice crioscópico (ΔT) será menor.

9. a. Entre 0 °C e 4 °C (trecho ascendente da curva).

b. De acordo com o gráfico, a densidade da água a 0 °C (temperatura de congelamento da água) é cerca de $0{,}985\ \text{g mL}^{-1}$. No entanto, a densidade do gelo a essa mesma temperatura é $0{,}9\ \text{g mL}^{-1}$. Assim, podemos concluir que a densidade representada no gráfico corresponde à da água líquida a uma temperatura de 0 °C.

10. a. O técnico empregou a técnica da volumetria de neutralização ou titulação.

b. $HC\ell(aq) + KOH(aq) \rightarrow KC\ell(aq) + H_2O(\ell)$

c. Com base na estequiometria da reação, podemos estabelecer a igualdade entre as quantidades de matéria do analito e do titulante em função da razão molar, 1, nesse caso:

$n(\text{analito}) = n(\text{titulante}) \cdot \text{razão molar}$

Como $n = cV$, temos:

$c(\text{analito}) \cdot V(\text{analito}) = c(\text{titulante}) \cdot V(\text{titulante}) \cdot \text{razão molar}$

$c(\text{analito}) \cdot 0{,}05\ \text{L} = 0{,}100\ \text{mol L}^{-1} \cdot 0{,}025\ \text{L} \cdot 1$

$c(\text{analito}) = 0{,}05\ \text{mol L}^{-1}$

No início do processo, 10 mL da solução de KOH foram diluídos. Por fim, determinamos a concentração inicial:

$c(\text{inicial}) \cdot V(\text{inicial}) = c(\text{final}) \cdot V(\text{final})$

$c(\text{inicial}) \cdot 0{,}01\ \text{L} = 0{,}05\ \text{mol L}^{-1} \cdot 0{,}05\ \text{L}$

$c(\text{inicial}) = 0{,}25\ \text{mol L}^{-1}$

11. a. O lote preparado pela empresa apresentou concentração de 46 °GL, ou 46% em volume de etanol. No entanto, a graduação em °INPM indica a fração mássica desse soluto.

b. A empresa pode empregar 460 kg de etanol e 540 kg de água, a fim de atingir a concentração desejada.

c. Nos rótulos deve constar a concentração 46 °GL, ou 46% em volume. Para apresentar o valor em °INPM, deve-se calcular a massa correspondente aos volumes misturados, ou seja, 460 L de etanol correspondem a 363,4 kg e 540 L de água correspondem a 540 kg, usando os valores de densidade $0{,}79\ \text{g mL}^{-1}$ e $1{,}00\ \text{g mL}^{-1}$, respectivamente. Assim, poderia ser apresentado no rótulo o valor de 40 °INPM.

d. Pode-se checar no gráfico a densidade da mistura. Nesse caso, $0{,}90\ \text{g mL}^{-1}$. Uma solução a 46 °INPM teria maior massa de etanol em comparação com a solução a 46 °GL e, por isso, densidade menor do que a indicada.

Capítulo 24 Equilíbrio heterogêneo e técnicas de separação de misturas

O foco de estudo deste capítulo consiste na identificação das reações químicas de precipitação, baseando-se na solubilidade dos compostos, bem como no reconhecimento dos processos de separação de uma mistura.

Objetivos de aprendizagem

Espera-se que, ao término deste capítulo, o estudante seja capaz de:

- prever as reações químicas de precipitação com base na solubilidade dos compostos.
- reconhecer sistemas em equilíbrio químico heterogêneo.
- relacionar o valor numérico do produto de solubilidade (K_s) e a solubilidade em quantidade de substância (s) dos sais em água.
- reconhecer os processos de separação de misturas como resultado da aplicação do conhecimento sobre as propriedades físico-químicas dos materiais.
- relacionar propriedades físico-químicas dos materiais, as interações moleculares e as técnicas cromatográficas.

Por dentro da BNCC

- **Competências gerais**: 2 e 7
- **Habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias**: EM13CNT101, EM13CNT104, EM13CNT205, EM13CNT301, EM13CNT302 e EM13CNT307
- **Tema contemporâneo transversal**: Saúde

Sugestões didáticas

Organize a sala em pequenos grupos e peça aos estudantes que leiam o texto introdutório do capítulo. Após a leitura, faça os seguintes questionamentos: "O que você entendeu sobre o texto lido?"; "O que mais chamou a sua atenção?". Peça aos grupos que façam a discussão e compartilhem as conclusões com a turma. Partindo das discussões, questione: "Qual é o conceito

central envolvido no problema abordado?"; "Se o bário pode causar efeitos tóxicos ao organismo, por que não há riscos em empregar $BaSO_4$ como agente de contraste, ao contrário do $BaCO_3$?". Espera-se que os estudantes identifiquem que o problema relaciona-se principalmente com o conceito de solubilidade de sais e que, nas condições citadas, o $BaSO_4$ não se solubiliza, ao contrário do $BaCO_3$, que solubiliza em meio ácido liberando íons bário. Essa abordagem está relacionada ao **TCT Saúde** e favorece o desenvolvimento da **competência geral 2** e da habilidade **EM13CNT104**.

Peça aos estudantes que leiam os tópicos iniciais e registrem as dúvidas que surgirem. Para complementar a leitura do tópico inicial, leve os estudantes ao laboratório de informática para explorar as simulações interativas indicadas no **Fique por dentro**, promovendo as habilidades **EM13CNT101** e **EM13CNT301**, bem como da **competência geral 2**.

A atividade sobre padrões da relação matemática entre K_s e s proposta na seção **Na prática** permite trabalhar os quatro pilares do pensamento computacional, ao mobilizar seis habilidades dessa estratégia para resolução de problemas: a coleta de dados, a análise de dados, a representação de dados, a decomposição de problemas, a abstração e a elaboração de algoritmos e procedimentos. A atividade também contribui para o desenvolvimento das **competências gerais 2** e **7** e das habilidades **EM13CNT205** e **EM13CNT301**.

Ao abordar o tópico "Interações intermoleculares e separação de misturas", faça um levantamento dos conhecimentos prévios dos estudantes sobre quais técnicas de separação de misturas eles conhecem. Questione-os sobre a finalidade dos processos, salientando que o objetivo é obter substâncias com o maior grau de pureza possível. Enfatize que o sucesso das análises químicas forenses também depende da identificação de substâncias presentes em misturas e que as quantificações dessas substâncias dependem muitas vezes de processos de separação de misturas.

Proposta de avaliação

A avaliação da aprendizagem pode ser realizada, em caráter formativo, por meio das diferentes atividades propostas ao longo do capítulo. A seção **Atividades de fechamento**, ao final do capítulo, visa avaliar a aprendizagem dos estudantes em relação aos principais conteúdos abordados, incluindo questões de vestibular, a fim de preparar os estudantes para exames de larga escala.

Resoluções e comentários

Na prática

1. $Fe(OH)_3(s) \rightleftharpoons Fe^{3+}(aq) + 3\ OH^-(aq)$

Com base nesses dados, deduz-se que $x = 1$ e que $y = 3$. Logo:

$K_s = (x^x \cdot y^y)s^{(x+y)} = (1^1 \cdot 3^3)s^{(1+3)} = 27s^4$.

2. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes indiquem que a dedução pode ser utilizada. Nesse caso:

$A_2B_3(s) \rightleftharpoons 2\ A^{3+}(aq) + 3\ B^{2-}(aq)$

em que $x = 2$ e que $y = 3$, logo:

$K_s = (2s)^2 \cdot (3s)^3 = 2^2 \cdot s^2 \cdot 3^3 \cdot s^3 = (2^2 \cdot 3^3)s^{(2+3)} = 108s^5$

Essa atividade possibilita o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT205**.

Aplique e registre

1. Alternativa **c**.

$$Ca_3(PO_4)_2(s) \rightleftharpoons 3\ Ca^{2+}(aq) + 2\ PO_4^{3-}(aq)$$

$Q_s = [Ca^{2+}]^3 \cdot [PO_4^{3-}]^2$

$Q_s = (2 \cdot 10^{-3})^3 \cdot (5 \cdot 10^{-6})^2 = 2 \cdot 10^{-19} > K_s\ (1 \cdot 10^{-25})$

A solução está saturada com presença de precipitado de fosfato de cálcio.

$$CaC_2O_4(s) \rightleftharpoons Ca^{2+}(aq) + C_2O_4^{2-}(aq)$$

$Q_s = [Ca^{2+}] \cdot [C_2O_4^{2-}]$

$Q_s = (2 \cdot 10^{-3}) \cdot (1 \cdot 10^7) = 2 \cdot 10^{-10} < K_s\ (1{,}3 \cdot 10^{-9})$

A solução está insaturada; não haverá precipitação de oxalato de cálcio. Essa atividade trabalha o **TCT Saúde**.

2. Para os três sais, é válida a equação: $s = \sqrt{K_s}$

Calculando a solubilidade para os sais, temos:

$BaSO_4$: $s = \sqrt{1{,}1 \cdot 10^{-10}} \Rightarrow s \simeq 1{,}05 \cdot 10^{-5}$ mol L^{-1}

$CaSO_4$: $s = \sqrt{2{,}4 \cdot 10^{-5}} \Rightarrow s \simeq 4{,}9 \cdot 10^{-3}$ mol L^{-1}

$PbSO_4$: $s = \sqrt{6{,}3 \cdot 10^{-7}} \Rightarrow s \simeq 7{,}9 \cdot 10^{-4}$ mol L^{-1}

Portanto, o sal menos solúvel é o sulfato de bário, $BaSO_4$.

3. A adição dos íons sulfato desloca o equilíbrio de dissolução do $BaSO_4$ no sentido inverso, diminuindo a disponibilidade dos íons bário livres, $Ba^{2+}(aq)$, e aumentando a segurança do uso do produto. Essa atividade possibilita o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT104**.

4. Se $K_s = 1 \cdot 10^{-10}$, a solubilidade do $BaSO_4$ é $1 \cdot 10^{-5}$ mol L^{-1}, o que corresponde, exclusivamente para os íons bário, a $1 \cdot 10^{-5}$ mol L^{-1}. Multiplicando-se esse valor por 140 g mol^{-1}, tem-se $140 \cdot 10^{-5}$ g L^{-1}, ou 1,40 mg L^{-1}. A dose letal é de 3 g L^{-1}, ou 3.000 mg L^{-1}. Assim, em 6 litros de sangue deverá haver 18.000 mg de bário, ou 18 g, para que a solução seja letal.

Se a suspensão fornece 1,40 mg L^{-1}, podemos encontrar o volume de suspensão que seria letal:

1,40 mg de bário ——— 1 L

18.000 mg de bário ——— x

$\therefore x \simeq 12.860$ L de suspensão

Como é impossível ingerir esse volume de medicamento, não se corre nenhum risco de morte. Essa atividade possibilita o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT101** e **EM13CNT104**.

5. Alternativa **d**. A ilustração fornecida exemplifica a cromatografia em papel, um procedimento utilizado para separar misturas. Nesse método, o líquido, denominado fase móvel, movimenta-se em sentido contrário ao da gravidade, impulsionado pela capilaridade dos poros do papel.

6. Em razão da grande solubilidade, não há sedimentação por parte de nenhum dos componentes, o que impossibilita a decantação. Nesse caso, recomendam-se outros métodos de separação, como a destilação.

7. **a.** É um sistema homogêneo, pois é constituído por uma só fase. É uma solução cujo solvente é a água e os solutos são as substâncias extraídas do pó de café.

b. A extração não será eficiente. A solubilidade dos componentes do pó será menor, portanto, estes praticamente não se dissolverão na água.

8. Alternativas **a** e **d** são verdadeiras. A alternativa **b** é falsa, pois, para que o álcool seja destilado, ele deve ser mais volátil que a gordura. A alternativa **c** é falsa porque os dois formam um sistema homogêneo, que não pode ser separado

por filtração. Essa atividade possibilita o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT307**.

9. **a.** Não é viável, pois as duas substâncias têm temperaturas de ebulição muito próximas. O mais adequado seria utilizar destilação fracionada.
   b. Sim, pois a glicerina se dissolverá na água, e o eugenol não. Isso possibilitará, posteriormente, a decantação da mistura e, em seguida, a separação da mistura glicerina e água por evaporação do solvente.

Atividades de fechamento

1. Alternativa **e**. As substâncias da semente de linhaça são solúveis em solventes orgânicos e apresentam temperatura de ebulição elevada. O extrato etéreo é uma solução dessas substâncias em éter etílico. No processo de destilação desse extrato, o éter etílico, mais volátil, é obtido no destilado 1, e o óleo de linhaça é obtido no resíduo 4. Essa atividade possibilita o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT101**.
2. Poderão ser utilizados o $HC\ell$, o HBr, o HI ou o H_2SO_4. Isso porque esses ácidos apresentam ânions que formam sais insolúveis em água com íons Ag^+.
3. Como a proporção entre cátions e ânions nos três sais é a mesma, é possível analisar diretamente os valores de K_s; assim, o sal com o menor K_s é o de menor solubilidade, em mol L^{-1}. Logo, o sal menos solúvel é o $Pb(IO_3)_2$.
4. Por meio do valor da solubilidade de um composto químico, podemos determinar a concentração, em mol L^{-1}, dos íons em solução e, assim, definir a constante do produto de solubilidade multiplicando essas concentrações elevadas aos coeficientes estequiométricos dos respectivos íons.
5. Cálculo da quantidade de substância $AgC\ell$:

Quantidade de substância de $AgC\ell$		Massa de $AgC\ell$
1 mol	_____	$143 \cdot 10^6$ µg
$n(AgC\ell)$	_____	520 µg

$$n\,(AgC\ell) = \frac{1\text{ mol} \cdot 520\text{ µg}}{143 \cdot 10^6\text{ µg}} \simeq 3{,}64 \cdot 10^{-6}\text{ mol}$$

Cálculo do volume de água:

A solubilidade do cloreto de prata a 50 °C é igual a 520 µg/100 g de água. Considerando a densidade da água igual a 1 g mL^{-1}, tem-se:

$$d = \frac{m}{V} \Rightarrow 1\text{ g mL}^{-1} = \frac{100\text{ g}}{V}$$

$$\therefore V = 100\text{ mL} = 0{,}1\text{ L}$$

Cálculo da solubilidade, em mol L^{-1}, de $AgC\ell$:

Quantidade de substância de $AgC\ell$		Volume de solução
$3{,}64 \cdot 10^{-6}$ mol	_____	0,1 L
$n(AgC\ell)$	_____	1 L

$$n(AgC\ell) = \frac{(3{,}64 \cdot 10^{-6}) \cdot 1\text{ L}}{0{,}1\text{ L}} \simeq 3{,}64 \cdot 10^{-5}\text{ mol}$$

O equilíbrio de solubilização do cloreto de prata em água é representado a seguir.

$$AgC\ell(s) \rightleftarrows Ag^+(aq) + C\ell^-(aq)$$

Considerando a relação estequiométrica da equação química, tem-se:

$$[Ag^+] = [C\ell^-] = s = 3{,}64 \cdot 10^{-5}\text{ mol L}^{-1}$$

$$K_s\,(AgC\ell) = [Ag^+] \cdot [C\ell^-] = s^2$$

$$K_s\,(AgC\ell) = (3{,}64 \cdot 10^{-5}\text{ mol L}^{-1})^2 \simeq 1{,}32 \cdot 10^{-9}$$

6. O valor do produto de solubilidade do $CaSO_4$ é dado por:

$$K_s\,(CaSO_4) = [Ca^{2+}] \cdot [SO_4^{2-}] = 2{,}4 \cdot 10^{-5}$$

De acordo com a estequiometria da reação, podemos estabelecer que:

$$[Ca^{2+}] = [SO_4^{2-}] = [CaSO_4] = c$$

Assim,

$$[Ca^{2+}] \cdot [SO_4^{2-}] = 2{,}4 \cdot 10^{-5}$$

$$c \cdot c = c^2 = 2{,}4 \cdot 10^{-5}$$

$$\therefore [CaSO_4] \simeq 4{,}9 \cdot 10^{-3}\text{ mol L}^{-1}$$

7. **a.** As moléculas B e C são classificadas como polares e a molécula D é apolar.
   b. Em A—B, a interação mais intensa é íon-dipolo permanente. Em B—C, é ligação de hidrogênio. Em C—D, é dipolo permanente-dipolo induzido. Em D—D, é dipolo instantâneo-dipolo induzido.
8. Alternativa **d**. A separação cromatográfica revelou que o corante amarelo é constituído, provavelmente, de apenas um tipo de molécula ou mais moléculas, mas que não puderam ser identificadas por esse método. Os confeitos que apresentaram manchas com mesmo fator de retenção utilizam o corante amarelo. Assim, os confeitos nas cores vermelha, verde e amarela apresentaram um padrão semelhante. Essa atividade possibilita o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT205**.
9. Alternativa **d**. Considerando as descrições do enunciado, as que interagem mais fortemente com a água são a capsorubina e a a-criptoxantina. Ambas apresentam o grupo hidroxila (—OH) e, por isso, interagem com as moléculas de água por meio de ligações de hidrogênio. A capsorubina apresenta mais grupos hidroxila e dois grupos carbonila (C═O), o que indica a presença de mais regiões hidrofílicas, o que a faz migrar mais lentamente. Essa atividade possibilita o trabalho interdisciplinar com o componente curricular Biologia.

Reflita sobre seu aprendizado!

Solicite aos estudantes que também utilizem as perguntas dessa seção para autoavaliar suas compreensões sobre as principais ideias discutidas nesta unidade. Proponha a eles que retomem as respostas da seção **Pense nisso!** que elaboraram no início do estudo desta unidade e as reescrevam com base nos seus conhecimentos atuais sobre os temas estudados. A autoavaliação do processo de aprendizagem favorece tanto o desenvolvimento da metacognição como o autoconhecimento, viabilizando, portanto, a mobilização das **competências gerais 1** e **6**. Em conjunto com a autoavaliação dos estudantes, utilize as elaborações deles ao longo de todo o trabalho como forma de avaliar a aprendizagem continuamente, identificando e dirimindo as lacunas de compreensão.

Educação Midiática

Essa seção desenvolve os **ODS 4** e **16** e tem como objetivos de aprendizagem:

- refletir sobre os impactos da inteligência artificial nos processos criativos.
- explorar a inteligência artificial generativa na representação de fenômenos naturais.
- analisar criticamente os conteúdos gerados por inteligência artificial.
- explicar um fenômeno da natureza, em um conteúdo midiático, com apoio de inteligência artificial generativa.

Para a realização da atividade, organize os estudantes em grupos para ler o texto e responder às perguntas.

1. Espera-se que os estudantes respondam que a IA pode ajudar a compreender fenômenos naturais pelas simulações e representação de diferentes fenômenos, a partir dos seus bancos de dados e algoritmos que organizam as informações das quais se valem para gerar novos conteúdos.
2. Espera-se que os estudantes apontem que os benefícios referem-se à ampliação do conhecimento sobre o tema, bem como à rápida geração de conteúdos a respeito. No entanto, se produzidas sem critério ou verificação, é possível que a IA gere representações equivocadas, contribuindo, nesse caso, para a disseminação de informações falsas sobre os fenômenos da natureza, o que pode ampliar o negacionismo acerca de questões ambientais, por exemplo.

No tópico **Ampliação de repertório**, que consiste em uma etapa de geração de imagens, incentive os estudantes a gerar mais de uma imagem, que possa representar diferentes momentos do fenômeno escolhido. Espera-se que com essa atividade os estudantes sejam capazes de listar semelhanças e diferenças, justificando a confiabilidade do que foi gerado, e apontem formas de aperfeiçoamento da imagem gerada.

No tópico **Produção de conteúdo** é sugerida a produção de uma narrativa com texto e imagem gerados por IA, a fim de explicar de forma clara as características de um fenômeno natural. Essa atividade possibilita o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT302**.

A **Autoavaliação**, ao final da seção, apresenta alguns critérios para a autoavaliação dos estudantes. Caso considere pertinente, monte uma tabela de rubricas considerando os níveis de desempenho: avançado, adequado, satisfatório e insuficiente para cada um dos critérios sugeridos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS COMENTADAS

ANDERSON, L. W.; KRATHWOHL, K. R. A. **Taxonomy for learning, teaching and assessing**: a revision of Bloom's taxonomy or educational objectives. New York: Longman, 2001.

O livro traz uma revisão da taxonomia de Bloom, que explora os currículos de três perspectivas únicas: psicólogos cognitivos, especialistas em currículo e formadores de professores e especialistas em medição e avaliação.

ANDRÉ, C. F. O pensamento computacional como estratégia de aprendizagem, autoria digital e construção da cidadania. **Teccogs** – Revista Digital de Tecnologias Cognitivas, n. 18, p. 94-109, jul./dez. 2018.

O artigo tem como proposta instigar como o pensamento computacional, na escola, favorece a revisão das próprias produções em um processo de ideias.

ARAÚJO, D. Todo remédio é uma droga? **Guia dos Entusiastas da Ciência**, v. 1, n. 4, p. 7, 2018. Disponível em: http://proec.ufabc.edu.br/gec/o-que-que-a-ciencia-tem/todo-remedio-e-uma-droga/. Acesso em: 31 out. 2024.

O artigo traz uma breve síntese sobre o uso de medicamentos pela humanidade através das décadas, bem como um breve resumo sobre a diferença entre os termos droga, fármaco, medicamento e remédio.

ARREDONDO, S. C.; DIAGO, J. C. **Avaliação educacional e promoção escolar**. Curitiba: Editora Intersaberes, 2013.

O livro apresenta a avaliação educacional sob diversas perspectivas, discorrendo sobre a evolução do conceito, abordagens, estrutura, funções, objetivos, âmbitos e circunstâncias.

ARROIO, A. Is media literacy an urgent issue in education for all? **Problems of education in the 21st century**, v. 75, n. 5, p. 416-418, 2017.

O artigo traz uma reflexão sobre como as novas tecnologias poderiam ser usadas para fornecer acesso e engajamento nos programas de aprendizagem para todos os grupos sociais da população em todo o mundo.

AULER, D. Enfoque ciência-tecnologia-sociedade: pressupostos para o contexto brasileiro. **Ciência & Ensino**, v. 1, n. especial, 2007.

Artigo de revisão bibliográfica sobre o enfoque Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS) dentro do contexto do ensino de Ciências no Brasil.

BACICH, L.; MORAN, J. **Metodologias ativas para uma educação inovadora**: uma abordagem teórico-prática [recurso eletrônico]. Porto Alegre: Penso, 2018.

O livro apresenta práticas pedagógicas, em Educação Básica e Superior, que valorizam o protagonismo dos estudantes e que estão relacionadas com as teorias que lhes servem de suporte.

BAZZO, W. A.; LISINGEN, I. V.; PEREIRA, L. T. V. (ed.). Introdução aos Estudos CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade). **Cadernos de Ibero-América**. OEI – Organização dos Estados Ibero-americanos para a Educação, a Ciência e a Cultura, Madrid, 2003.

Livro que analisa os conceitos de Ciência, tecnologia e sociedade, assim como as relações entre eles e o significado da própria perspectiva CTS.

BENITE, A. M. C.; SILVA, J. P.; ALVINO, A. C. Ferro, ferreiros e forja: o ensino de Química pela Lei n. 10.639/03. **Educ. Foco**, v. 21, n. 3, p. 735-768, 2016. Disponível em: https://periodicos.ufjf.br/index.php/edufoco/article/view/19877. Acesso em: 31 out. 2024.

Nesse trabalho discutem-se as relações entre Ciência, tecnologia e sociedade de matriz africana, no contexto de transformação da matéria por meio do ferro, do ferreiro e da forja, e a necessidade de o currículo de Ciências dialogar com a cultura e a história africana e afro-brasileira.

BERLAND, L. K.; HAMMER, D. Framing for scientific argumentation. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 49, n. 1, p. 68-94, 2012.

O artigo apresenta os resultados de uma pesquisa cujo objetivo era entender como estudantes argumentam quando experimentam a necessidade de persuadir indivíduos com visões contrárias às deles.

BORELLI, S. H. S.; FREIRE FILHO, J. (org.). Culturas juvenis no século XXI. **Revista de Antropologia**, São Paulo: USP, v. 52, n. 1, 2009. Disponível em: revistas.usp.br/ra/article/view/27340/29112. Acesso em: 31 out. 2024.

O artigo apresenta uma série de pesquisas sobre práticas juvenis no Brasil e busca oferecer um panorama das transformações dos modos de ser jovem no início deste século.

BORGES, R. M. R. **Em debate**: cientificidade e educação em ciências. 2. ed. Porto Alegre: EDUPUCRS, 2007.

O livro traz reflexões sobre a natureza do conhecimento científico, concepção de ciência e de como o conhecimento científico se desenvolve.

BRASIL. Ministério da Educação. **Guia de Implementação do Novo Ensino Médio**. Disponível em: https://anec.org.br/wp-content/uploads/2021/04/Guia-de-implantacao-do-Novo-Ensino-Medio.pdf. Acesso em: 31 out. 2024.

O documento traz os fundamentos para a implementação da nova proposta para a etapa do Ensino Médio, enfatizando a importância do uso de instrumentos diversificados para avaliação do ensino-aprendizagem.

BRASIL. Ministério da Educação. **Novo Ensino Médio – perguntas e respostas**. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/publicacoes-para-professores/30000-uncategorised/40361-novo-ensinomedio-duvidas. Acesso em: 15 set. 2024.

O documento reúne as perguntas mais frequentes sobre o novo Ensino Médio e as respectivas respostas.

BRASIL. Ministério da Educação. **Proposta de diretrizes para a formação inicial de professores da Educação Básica, em cursos de nível superior**, 2000. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/sesu/arquivos/pdf/ed_basdire.pdf. Acesso em: 15 set. 2024.

O documento propõe uma formação, nos cursos de Ensino Superior, mais condizente com os desafios do mundo atual e enumera algumas exigências para o papel do professor nessa nova perspectiva.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretária de Educação Básica. **Base Nacional Comum Curricular:** educação é a base. Brasília: MEC/SEB, 2018. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf. Acesso em: 31 out. 2024.

Trata-se de um documento normativo que define o conjunto de aprendizagens essenciais que todos os estudantes devem desenvolver ao longo das etapas e modalidades da Educação Básica.

BRASIL. Ministério da Educação. **Temas Contemporâneos Transversais na BNCC**: propostas de práticas de implementação, 2019. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/implementacao/guia_pratico_temas_contemporaneos.pdf. Acesso em: 31 out. 2024.

O documento explica a necessidade de abordar esses temas nas escolas mostrando que, ao contextualizar o que é ensinado em sala de aula com os temas contemporâneos, pode-se aumentar o interesse dos estudantes no seu desenvolvimento como cidadão.

CARMO, M. P.; MARCONDES, M. E. R. Abordando soluções em sala de aula – uma experiência de ensino a partir das ideias dos alunos. **Química Nova na Escola**, n. 28, p. 37-41, 2008. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc28/09-AF-1806.pdf. Acesso em: 14 set. 2024.

O artigo traz uma proposta de ensino que visa auxiliar os estudantes na compreensão do conceito de solução.

CARVALHO, A. M. P. Las prácticas experimentales en el proceso de enculturación cientifica. *In*: GATICA, M. Q.; ADÚRIZ-BRAVO, A. (ed.). **Enseñar ciencias en el nuevo milenio:** retos e propuestas. Santiago: Universidade Católica de Chile, 2006.

O artigo mostra que não é apenas o produto das Ciências que deve ser transmitido às novas gerações, mas também o processo de construção das Ciências e a cultura científica com base em seus diversos prismas.

CARVALHO, A. M. P. *et al*. **Termodinâmica:** um ensino por investigação. São Paulo: Feusp/Capes, 1999.

O artigo discorre sobre a averiguação das vantagens de usar o ensino por investigação.

CARVALHO, A. M. P.; GIL-PÉREZ, D. **Formação de professores de Ciências**: tendências e inovações. 8. ed. São Paulo: Cortez, 2011.

Os autores descrevem um conjunto de necessidades formativas que os professores devem superar para terem um bom desempenho profissional.

CORTESÃO, L. Formas de ensinar, formas de avaliar. Breve análise de práticas correntes de avaliação. *In*: ABRANTES, P., ARAÚJO, F. (coord.). **Reorganização Curricular do Ensino Básico**. Avaliação das Aprendizagens – Das concepções às práticas. Lisboa: Ministério da Educação. Departamento da Educação Básica, 2002.

A autora desenvolve a noção de que diferentes concepções de escola exigem diferentes modelos avaliativos e oferece subsídios para a aplicação de avaliações diagnósticas, formativas e somativas.

COSTA, A. C. G. da. **Pedagogia da presença:** da solidão ao encontro. Belo Horizonte: Modus Faciendi, 2001.

O livro é uma ferramenta de qualificação das relações humanas, como ética de acolhimento, respeito e empatia para com as pessoas.

COSTA, A. C. G. da; VIEIRA, M. A. **Protagonismo juvenil:** adolescência, educação e participação democrática. Salvador: Fundação Odebrecht, 2000.

O livro tem como objetivo instrumentalizar os profissionais que lidam com o desenvolvimento pessoal e social do jovem, oferecendo um conjunto de conceitos e práticas que trazem novos paradigmas de educação tendo o jovem como eixo central.

DEWEY, J. **Lógica:** teoría de la investigación. México: Fondo de Cultura Económica, 1950.

O livro demonstra que a aprendizagem deve partir da lógica, caracterizada como teoria da investigação.

DIESEL, A.; BALDEZ, A. L. S.; MARTINS, S. N. Os princípios das metodologias ativas de ensino: uma abordagem teórica. **Revista Thema**, v. 14, n. 1, p. 268-288, 2017.

O artigo traz práticas pedagógicas que valorizam o protagonismo dos estudantes e que estão relacionadas com as teorias que lhes servem de suporte, além de apresentar as alterações necessárias na prática docente por ocasião do uso de metodologias ativas.

ERDURAN, S.; JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P. (ed.). **Argumentation in Science Education:** Perspectives from Classroom-based Research. Reino Unido: Springer, 2007.

Combinando perspectivas teóricas e práticas relevantes, o livro agrupa artigos de renomados pesquisadores na área de argumentação no ensino de Ciências.

FAZENDA, I. C. A. **Integração e interdisciplinaridade no ensino brasileiro**: efetividade ou ideologias. 6. ed. São Paulo: Loyola, 2011.

Por meio de pesquisas sobre a legislação brasileira e aspectos teóricos da interdisciplinaridade (como sua utilidade, sua aplicabilidade e seus obstáculos), esse livro traz uma visão geral sobre "integração" e "interdisciplinaridade" na educação.

FEISTEL, R. A. B.; MAESTRELLI, S. R. P. Interdisciplinaridade na formação de professores de Ciências Naturais e Matemática: algumas reflexões. *In:* **VII Enpec**, Florianópolis, nov. 2009.

Artigo que discute a interdisciplinaridade embasado em referenciais teóricos e documentos oficiais normativos e com foco na formação de professores na UFMT.

FERNANDES, D. Avaliação formativa. *In*: GONTIJO, S. B. F.; LINHARES, V. L. C. N. (org.) **Dicionário de avaliação educacional**. Brasília: Editora IFB, 2023. Disponível em: https://arquivorevistaeixo.ifb.edu.br/index.php/editoraifb/issue/view/178. Acesso em: 15 set. 2024.

Dicionário que reúne termos relacionados à avaliação educacional, elaborado a partir de discussões sobre o tema realizadas pelo Grupo de Estudos e Pesquisas em Organização do Trabalho Pedagógico e Formação Docente, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Brasília.

FERNANDES, D. Para uma teoria da avaliação no domínio das aprendizagens. **Estudos em avaliação educacional**, v. 19, n. 41, set./dez. 2008, p. 347-372. Disponível em: https://www.fcc.org.br/pesquisa/publicacoes/eae/arquivos/1454/1454.pdf. Acesso em: 15 set. 2024.

O artigo discute o processo de construção teórica da avaliação escolar, conceituando a avaliação formativa alternativa e estabelecendo conexões entre ela e o modelo somativo.

FERRAZ, A. T.; SASSERON, L. H. Propósitos epistêmicos para a promoção da argumentação em aulas investigativas. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 22, n. 1, p. 42-60, 2017. Disponível em: https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/312/pdf. Acesso em: 15 set. 2024.

Artigo científico que traça um panorama das ações tomadas por um professor que permitiram instaurar e mediar a produção de argumentos pelos estudantes em sala de aula.

FERREIRA-GAUCHÍA, C.; VILCHES, A.; GIL-PÉREZ, D. Concepciones acerca de la naturaleza de la tecnología y de las relaciones ciencia, tecnología, sociedad y ambiente en la educación tecnológica. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 30, n. 2, p. 197-218, 2012.

O artigo aborda a concepção simplista de ciência e tecnologia, mais especificamente a concepção de tecnologia como sendo uma mera aplicação do conhecimento científico.

FRANCISCO JR., W. E.; FERREIRA, L. H.; HARTWIG, D. R. Experimentação problematizadora: fundamentos teóricos e práticos para a aplicação em salas de aula de Ciências. **Química Nova na Escola**, n. 30, p. 34-41, nov. 2008.

O artigo propõe uma abordagem experimental baseada na problematização freiriana.

FREIRE, P. **Pedagogia da esperança:** um reencontro com a Pedagogia do oprimido. 16. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2009.

O autor faz uma reflexão sobre o livro *Pedagogia do oprimido*, publicado em 1968 durante o seu exílio no Chile, e analisa suas experiências pedagógicas em quase três décadas nos mais diferentes países.

HADJI, C. **Avaliação desmistificada**. Tradução de Patrícia C. Ramos. Porto Alegre: Artmed, 2001.

O autor discute aspectos ideológicos e filosóficos, propondo-se a trazer para a realidade aquilo que frequentemente é idealizado a respeito das avaliações formativas.

HUGHES, G. Introducing ipsative assessment and personal learning gain: voices from practitioners and the themes of the collection. *In*: HUGHES, G. (ed.). **Ipsative assessment and personal learning gain:** exploring international case studies. London: Palgrave Macmillan, 2017.

O capítulo apresenta a avaliação ipsativa como uma abordagem diametralmente oposta a visões meritocráticas e propostas homogeneizadoras de avaliação escolar.

KLOSTERMAN, M. L.; SADLER, T. D.; BROWN, J. Science teachers' use of mass media to address socio-scientific and sustainability issues. **Research in Science Education**, v. 42, n. 1, p. 51-74, 2012.

Esse estudo investiga os usos, relatados e reais em sala de aula, dos meios de comunicação de massa pelos professores secundários de Ciências para explorar questões sociocientíficas e de sustentabilidade.

KRASILCHIK, M. **Prática de ensino de Biologia**. São Paulo: Edusp, 2004.

O livro procura acompanhar o crescimento das pesquisas na área e a expansão e o aprofundamento dos estudos sobre o aprendizado dos estudantes, mantendo, no entanto, suas características de instrumento de consulta e estudo.

KRASILCHIK, M.; MARANDINO, M. **Ensino de Ciências e cidadania**. São Paulo: Moderna, 2004.

O livro faz uma análise das tendências presentes no ensino básico de Ciências, levando em consideração o que realmente é essencial para que o objetivo do seu ensino seja realmente alcançado.

LIMA, L. F.; SANTOS; A. G. F.; D'ESCOFFIER, L. N.; SANTOS, T. C.; CHRISPINO, A. A interdisciplinaridade em CTS: um estudo da produção científica voltada para o ensino de ciências com análise bibliométrica e de redes. **Revista Eletrônica DECT**, v. 8, n. 1, p. 20-54, abr. 2018. Disponível em: https://ojs.ifes.edu.br/index.php/dect/article/view/1050. Acesso em: 16 out. 2024.

Artigo que analisa a produção científica nacional (de 1996 a 2016) sobre interdisciplinaridade e contextualização sob a perspectiva CTS voltada para o ensino de Ciências.

LINSINGEN, L. V. **Metodologia de ensino de Ciências e Biologia**. Florianópolis: Biologia/EaD/UFSC, 2010. Disponível em: https://antigo.uab.ufsc.br/biologia//files/2020/08/Metodologia-do-Ensino-de-Ci%C3%AAncias-e-Biologia.pdf. Acesso em: 17 out. 2024.

O livro aborda algumas metodologias e práticas pedagógicas, bem como materiais e recursos didáticos para o ensino de Ciências e Biologia no contexto brasileiro. O objetivo principal do livro é orientar professores da área sobre estratégias para ensinar e aprender Ciências e Biologia na Educação Básica.

LUCKESI, C. C. **Avaliação da aprendizagem**: componente do ato pedagógico. São Paulo: Cortez Editora, 2011.

O livro oferece condições para melhor compreender o ato de avaliar a aprendizagem dos estudantes e, dessa forma, orientar uma prática mais adequada às suas finalidades.

MACHADO, V. F.; SASSERON, L. H. As perguntas em aulas investigativas de Ciências: a construção teórica de categorias. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 12, n. 2, 2012. Disponível em: https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4229/2794. Acesso em: 31 out. 2024.

O artigo propõe uma construção teórica de categorias para as perguntas feitas pelo professor de Ciências em aulas investigativas, levando em conta o conceito de ciclo argumentativo.

MAFFI, C.; PREDIGER, T. L.; ROCHA FILHO, J. B.; RAMOS, M. G. A contextualização na aprendizagem: percepções de docentes de ciências e matemática. **Revista Conhecimento Online**, n. 11, v. 2, 2019.

O artigo analisa percepções de professores sobre a contextualização no ensino e destaca sua importância para incentivar práticas interdisciplinares e contribuir para a formação de sujeitos críticos e autônomos.

MARTINO, L. M. S. **Teorias das mídias digitais:** linguagens, ambientes e redes. Petrópolis: Vozes, 2014.

O livro faz um mapeamento dos conceitos e das teorias relacionados a cibercultura, cultura digital, internet ou mídias digitais e apresenta os eixos temáticos dessas mídias dentro da comunicação.

MORAES, J. U. P. *et al*. Avaliação baseada na aprendizagem significativa por meio de mapas conceituais. **VIII Enpec**, Campinas, 2011.

O artigo busca fazer uso de mapas conceituais para avaliar o aprendizado dos estudantes, identificando se esse aprendizado ocorreu de forma significativa.

MORAIS, C. A. de; ALBUQUERQUE, R. O. de; LADEIRA, A. C. Q. Processos físicos e químicos utilizados na indústria mineral. **Química Nova na Escola**, n. 8, 2014. p. 9-17. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/cadernos/08/04-CTN2.pdf. Acesso em: 31 out. 2024.

Esse trabalho descreve a química e a físico-química da obtenção de metais a partir de seus minérios. São descritas as técnicas mais comuns utilizadas pelas indústrias de mineração e metalurgia.

MOREIRA, M. A. **Mapas conceituais e aprendizagem significativa**. Porto Alegre: Instituto de Física – UFRGS, 2012. Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/~moreira/mapasport.pdf. Acesso em: 15 set. 2024.

O artigo mostra uma fundamentação teórica e alguns exemplos de mapas conceituais, particularmente na área de Ciências. Eles são propostos como uma estratégia potencialmente facilitadora de aprendizagem significativa.

MORI, L.; CUNHA, M. B. da. Problematização: possibilidades para o ensino de química. **Química Nova na Escola**, v. 42, n. 2, p. 176-185, 2020. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc42_2/10-EQF-41-19.pdf. Acesso em: 10 set. 2024.

Artigo que apresenta diversas metodologias de ensino baseadas em problematizações, entre elas a Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP).

MORTIMER, E. F.; MACHADO, A. H.; ROMANELLI, L. I. A proposta curricular de química do Estado de Minas Gerais: fundamentos e pressupostos. **Química Nova**, v. 23, n. 2, p. 273-283, 2000.

O artigo se refere à elaboração de um currículo de Química para o Ensino Médio de um Estado brasileiro. Nele, os autores também discorrem sobre três aspectos do conhecimento químico: fenomenológico, teórico e representacional.

MOSS, B.; LOH, V. S. **35 estratégias para desenvolver a leitura com textos informativos**. Porto Alegre: Penso, 2012.

O livro é um guia prático que apresenta atividades baseadas em pesquisas que auxiliam os professores a ensinar os estudantes a ler textos informativos e pensar com senso crítico sobre eles.

NOVA ESCOLA. **O que pensam os jovens de baixa renda sobre a escola**. Disponível em: https://novaescola.org.br/conteudo/7307/expediente-edicao-especial-o-que-pensam-os-jovens-de-baixa-renda-sobre-a-escola?_gl=1*1sc4ipg*_gcl_au*MTY5MzQ2NTk3NC4xNzI2NDIyNjg3. Acesso em: 15 set. 2024.

Artigo que relata os resultados de uma pesquisa que revela, entre outros aspectos, que os jovens de baixa renda não encontravam sentido no conteúdo ensinado nas escolas, evidenciando a distância entre a vida real e a rotina escolar no âmbito do uso de tecnologias.

NOVAK, J. D.; GOWIN, D. B. **Aprender a aprender**. 2. ed. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 1999.

O livro traz ferramentas cujo objetivo é facilitar o processo de aprender de forma significativa.

PERRENOUD, P. Pour une approche pragmatique de l'évaluation formative. **Mesure et évaluation en éducation**, 13(4), 1991, p. 49-81. Disponível em: https://www.unige.ch/fapse/SSE/teachers/perrenoud/php_main/php_1991/1991_12.html. Acesso em: 15 set. 2024.

No artigo, o sociólogo defende uma concepção mais ampla da avaliação formativa sob os pontos de vista da observação, da intervenção e da regulação das aprendizagens.

PEZARINI, A. R.; MACIEL, M. D. A argumentação no ensino de Ciências: um delineamento das produções acadêmicas brasileiras no período de 2010 a 2018. **Revista Triângulo**, v. 11, n. 3, p. 212-232, 2018. Disponível em: https://seer.uftm.edu.br/revistaeletronica/index.php/revistatriangulo/article/view/3078. Acesso em: 15 set. 2024.

O artigo apresenta um mapeamento da produção acadêmica brasileira sobre argumentação no ensino de Ciências.

POMBO, O. **Epistemologia da Interdisciplinaridade**. Ideação, [*s. l.*], v. 10, n. 1, p. 9-40, 2010. Disponível em: https://e-revista.unioeste.br/index.php/ideacao/article/view/4141. Acesso em: 16 out. 2024.

Artigo que se propõe a explorar o conceito de interdisciplinaridade, assim como seus fundamentos teóricos e as perspectivas atuais do trabalho interdisciplinar.

RITCHHART, R.; CHURCH, M.; MORRISON, K. **Making Thinking Visible:** How to promote engagement, understanding, and independence for all learners. 1. ed. California: Jossey-Bass, 2011.

O livro traz uma abordagem baseada em pesquisa para o ensino do pensamento. É uma coleção variada de práticas, incluindo rotinas de pensamento – pequenos conjuntos de perguntas ou uma breve sequência de etapas –, além da documentação do pensamento do estudante.

ROGERS, C. **Liberdade para aprender**. Belo Horizonte: Interlivros, 1973.

O livro parte de questionamentos a respeito do sistema educacional; foi escrito para os profissionais da educação numa tentativa de motivar o desejo de mudança e a realização de algo concreto.

SANTOS, L. A articulação entre a avaliação somativa e a formativa, na prática pedagógica: uma impossibilidade ou um desafio? **Ensaio**: avaliação e políticas públicas em educação. 24 (92), jul./set. 2016, p. 637-669. Disponível em: https://www.scielo.br/j/ensaio/a/ZyzxQhwSHR8FQTSxy8JNczk. Acesso em: 15 set. 2024.

A autora propõe princípios que podem guiar a articulação entre avaliação somativa e formativa, recorrendo à educação matemática com o propósito de ilustrar algumas situações práticas.

SANTOS, W. L. P. Contextualização no ensino de Ciências por meio de temas CTS em uma perspectiva crítica. **Ciência & Ensino**, v. 1, 2007. Disponível em: https://recursosdefisica.com.br/files/149-530-1-PB.pdf. Acesso em: 15 set. 2024.

Com base no enfoque Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS), o artigo propõe uma abordagem de contextualização no ensino de Ciências em uma perspectiva crítica e apresenta um modelo curricular como exemplo.

SANTOS, W. L. P.; SCHNETZLER, R. P. **Educação em Química**: compromisso com a cidadania. 4. ed. Ijuí: Editora da Unijuí, 2010.

Obra dedicada ao ensino de Química, apresenta uma nova leitura sobre o movimento Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS) no ensino de Ciências.

SASSERON, L. H. S. Alfabetização científica, ensino por investigação e argumentação: relações entre Ciências da natureza e escola. **Revista Ensaio**, v. 17, n. especial, p. 49-67, 2015. Disponível em: https://www.scielo.br/pdf/epec/v17nspe/1983-2117-epec-17-0s-00049.pdf. Acesso em: 15 set. 2024.

O livro tem por objetivo discutir aspectos importantes do ensino e da aprendizagem do conteúdo científico no nível fundamental.

SASSERON, L. H. S.; CARVALHO, A. M. P. Almejando a alfabetização científica no ensino fundamental: a proposição e a procura de indicadores do processo. **Investigações em ensino de Ciências**, v. 13, n. 3, p. 333-352, 2008. Disponível em: https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/445. Acesso em: 15 set. 2024.

O artigo apresenta um estudo qualitativo realizado após a aplicação de uma sequência didática de Ciências no Ensino Fundamental.

SILVA, A. M. K. **Questões sociocientíficas e o pensamento complexo:** teciturας para o ensino de Ciências. Tese (doutorado) – Faculdade da Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

A pesquisa, de cunho teórico, teve por objetivo delinear, a partir do pensamento complexo, princípios epistêmicos teórico-estratégicos orientadores nas discussões sobre Questões Sociocientíficas (QSC) em aulas de Ciências.

SILVA, A. N.; PATACA, E. M. O ensino de equilíbrio químico a partir dos trabalhos do cientista alemão Fritz Haber na síntese da amônia e no programa de armas químicas durante a Primeira Guerra Mundial. **Química Nova na Escola**, v. 40, n. 1, p. 33-43, 2018. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc40_1/07-RSA-12-17.pdf. Acesso em: 16 set. 2024.

Relato de experiência didática com alunos do 3º ano do Ensino Médio no qual foram utilizados aspectos da História das Ciências no ensino de Química.

SILVA, E. L. da. **Contextualização no ensino de Química:** ideias, proposições de um grupo de professores. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Química da Universidade de São

Paulo, São Paulo, 2007. Disponível em: http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/marco2012/quimica_artigos/contex_ens_quim_dissert.pdf. Acesso em: 15 set. 2024.

A pesquisa teve como objetivo investigar as ideias e as proposições de um grupo de professores a respeito da contextualização no ensino de Química.

SILVA, L. R. de B. Ferreiros e alquimistas – jogo brasileiro reconta a história da tribo indígena Tayronas da Colômbia e o processo de alquimia para criar o ouro de tolo. **Gamereporter**, 5 abr. 2018. Disponível em: https://www.gamereporter.com.br/alquimistas. Acesso em: 31 out. 2024.

O artigo traz uma descrição e explicação sobre o jogo desenvolvido por pesquisadores da UFRGS abordado na seção Fique por dentro.

SILVEIRA, A. P. C.; SANTOS, T. C.; CHRISPINO, A. Uma análise do conceito de interdisciplinaridade no ensino CTS brasileiro. **Educação e Fronteiras**, Dourados, v. 9, n. 25, p. 166-182, 2019. Disponível em: https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/educacao/article/view/11020. Acesso em: 31 out. 2024.

Artigo que analisa o conceito de interdisciplinaridade presente na produção científica brasileira (de 1996 a 2018) sobre ensino CTS.

SOLÉ, I. **Estratégias de leitura**. Porto Alegre: Artmed, 1998.

O objetivo desse livro é instrumentalizar educadores e profissionais para promover a utilização de estratégias de leitura que permitam interpretar e compreender melhor textos escritos.

TRIVELATO, S. L. F.; SILVA, R. L. F. **Ensino de Ciências**. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

O livro aprofunda a discussão conceitual sobre temas atuais e de limites menos disciplinares e indica, ao final de cada capítulo, diversas referências bibliográficas sobre o ensino de Ciências.

UNESCO. **Educação para os objetivos de desenvolvimento sustentável**: objetivos de aprendizagem, Brasília: Unesco, 2017.

O guia oferece orientações e sugestões que os educadores podem selecionar e adaptar para encaixar em contextos de aprendizagem concretos.

VARGAS, D. S. O plano inferencial em atividades escolares de leitura: o livro didático em questão. **Revista Intercâmbio**, v. XXV, p. 126-152, 2012. Disponível em: https://revistas.pucsp.br/index.php/intercambio/article/view/10137/7617. Acesso em: 15 set. 2024.

O artigo analisa materiais didáticos de Língua Portuguesa no que diz respeito ao trabalho desenvolvido com os estudantes em relação aos seus processos de inferenciação em leitura.

WILSON, C.; GRIZZLE, A.; TUAZON, R.; AKYEMPONG, K.; CHEUNG, C. **Alfabetização midiática e informacional**: currículo para a formação de professores. Brasília: Unesco, 2013. Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000220418. Acesso em: 15 set. 2024.

A publicação faz uma abordagem sistemática e abrangente na preparação do currículo de Alfabetização midiática informacional para formação de professores.

WING, J. Pensamento computacional – Um conjunto de atitudes e habilidades que todos, não só cientistas da computação, ficaram ansiosos para aprender e usar. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 9, n. 2, p. 1-10, maio/ago. 2016. Disponível em: https://periodicos.utfpr.edu.br/rbect/article/view/4711. Acesso em: 15 set. 2024.

O artigo traz exemplos de como elementos do pensamento computacional estão presentes no cotidiano e evidencia a importância do favorecimento do pensamento computacional na compreensão de conceitos e no enfrentamento de desafios cotidianos.

REFERÊNCIAS COMPLEMENTARES COMENTADAS

ACD. **ChemSketch Freeware**. Disponível em: https://www.acdlabs.com/resources/free-chemistry-software-apps/chemsketch-freeware/. Acesso em: 31 out. 2024.

Esse *software* gratuito permite a manipulação e representação de substâncias.

ALTARUGIO, M. H.; DINIZ, M. L.; LOCATELLI, S. W. O debate como estratégia em aulas de Química. **Química Nova na Escola**, v. 32, n. 1, 2010. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc32_1/06-RSA-8008.pdf. Acesso em: 31 out. 2024.

As autoras trazem ponderações e uma defesa teórica do uso do debate nas aulas de Ciências. Por meio da revisão da literatura e focando nas vantagens pedagógicas dessa estratégia, elas defendem a importância do debate sob o ponto de vista da formação crítica dos estudantes.

BASTOS, M. A.; BENITE, A. M. C. Cultura africana e ensino de Química: estudo sobre a formação docente. **Revista da ABPN**, v. 9, n. 21, p. 64-80, nov. 2016-fev. 2017. Disponível em: https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/426/o/Cultura_africana_e_ensino_de_qu%C3%ADmica_estudo_sobre_a_forma%C3%A7%C3%A3o_docente.pdf?1490017371. Acesso em: 31 out. 2024.

Os resultados dessa pesquisa mostraram que é possível implementar a Lei n. 10.639, de 9 de janeiro de 2003, por meio da experimentação do ensino de Química, valorizando o legado africano à Ciência e à Tecnologia. Essa lei inclui no currículo oficial a cultura africana e afro-brasileira e a educação das relações raciais em toda a educação, pública e privada.

CHACON, E. P. *et al*. Ensino de química: água e suas implicações na qualidade de vida. **Areté – Revista Amazônica de Ensino de Ciências**, Manaus, v. 9, n. 19, p. 281-291, jul./dez. 2016. Disponível em: https://periodicos.uea.edu.br/index.php/arete/article/view/238. Acesso em: 14 set. 2024.

Este trabalho relata como o tema gerador "Água e suas implicações na qualidade de vida" foi usado para fomentar uma discussão sob a ótica de Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente.

COELHO, L. R.; ANJOS, V. H. A. dos; ANJOS, D. S. C. dos. A água como tema gerador do conhecimento químico: construindo um ensino-aprendizado contextual e cidadão no ensino de Química. **Revista Seminário de Visu**, Petrolina, v. 9, n. 3, p. 344-361, 2021.

Artigo que aborda formas de praticar o ensino de química contextualizado e cidadão, dando um exemplo prático utilizando a água. A pesquisa ocorreu em uma escola pública de Petrolina-PE.

DINIZ JÚNIOR, A. I.; SILVA, J. R. R. T. Isômeros, funções orgânicas e radicais livres: análise da aprendizagem de alunos do Ensino Médio segundo a abordagem CTS. **Química Nova na Escola**, v. 38, n. 1, p. 60-69, 2016. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc38_1/11-EQF-47-14.pdf. Acesso em: 31 out. 2024.

O artigo analisa a aprendizagem de estudantes das três séries do Ensino Médio de Química Orgânica utilizando a abordagem metodológica ativa CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade).

DURAND, A. M.; GARCIA, I. K. Pesquisa bibliográfica: as reações de oxirredução de acordo com os modelos mentais. **Investigação em Ensino de Ciências**, v. 25, dez. 2020. Disponível em: https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/1857/pdf. Acesso em: 3 set. 2024.

O artigo apresenta um compilado de artigos da área de Ensino de Química que abordam o processo de ensino-aprendizagem de conceitos relacionados às reações de oxirredução à luz dos modelos mentais.

FERNANDEZ, C.; MARCONDES, M. E. R. Concepções sobre ligação química. **Química Nova na Escola**, n. 24, p. 20-24, nov. 2006.

O artigo revisa concepções alternativas sobre ligações químicas.

FERREIRA, P. G.; SILVA, F. C.; FERREIRA, V. F. A importância da Química para a economia circular. **Revista Virtual de Química**, v. 9, n. 1, 2017. Disponível em: http://static.sites.sbq.org.br/rvq.sbq.org.br/pdf/VitorNoPrelo.pdf. Acesso em: 31 out. 2024.

Nesse trabalho, é discutida a importância da Química para a economia circular, contribuindo para a mudança do paradigma direcionado ao consumismo e à extração de recursos não renováveis, em busca de uma simbiose entre um sistema de produção e o consumo sustentável, alertando as autoridades e a população sobre uma nova forma de pensar.

GIL-PÉREZ, D. *et al.* Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001. Disponível em: https://www.scielo.br/pdf/ciedu/v7n2/01.pdf. Acesso em: 31 out. 2024.

Os autores apresentam os principais mitos associados à natureza da Ciência e discutem as implicações de imagens deformadas sobre o trabalho científico para o ensino e a aprendizagem de Ciências.

KLEIN, S. G.; BRAIBANTE, M. E. F.; BRAIBANTE, H. T. S. Reações de oxi-redução: uma proposta de abordagem em sala de aula. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 15, n. 1, 2020. Disponível em: https://if.ufmt.br/eenci/artigos/Artigo_ID704/v15_n1_a2020.pdf. Acesso em: 3 ago. 2024.

O artigo aborda uma proposta de abordagem do conteúdo por meio da poluição e apresenta um compilado de estudos que apontam as principais dificuldades de aprendizagem dos conceitos relacionados à oxirredução.

MARTINS, C. R. *et al*. Ciclos globais de carbono, nitrogênio e enxofre: a importância na química da atmosfera. **Química Nova na Escola**, n. 5, 2003. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/cadernos/05/quimica_da_atmosfera.pdf. Acesso em: 31 out. 2024.

O artigo apresenta as diferentes camadas da atmosfera terrestre, suas características e constituintes químicos principais, além dos ciclos globais do carbono, nitrogênio e enxofre e seus impactos no ambiente.

MELO, M. C. H.; CRUZ, G. C. Roda de conversa: uma proposta metodológica para a construção de um espaço de diálogo no Ensino Médio. **Imagens da Educação**, v. 4, n. 2, p. 31-39, 2014. Disponível em: http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ImagensEduc/article/view/22222. Acesso em: 31 out. 2024.

O texto traz considerações acerca das rodas de conversa do ponto de vista pedagógico e acadêmico-metodológico. O estudo de caso apresentado pode contribuir com reflexões para uma abordagem com estudantes do Ensino Médio.

MIRANDA, A. C. G.; BRAIBANTE, M. E. F.; PAZINATO, M. S. Concepções alternativas sobre forças intermoleculares: um estudo a partir das publicações da área de ensino. **Enseñanza de las ciencias**, p. 1.807-1.812, 2017. Disponível em: https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/337430/428271. Acesso em: 31 out. 2024.

O artigo relata as concepções alternativas de estudantes sobre forças intermoleculares.

MUENCHEN, C.; DELIZOICOV, D. A construção de um processo didático-pedagógico dialógico: aspectos epistemológicos. **Revista Ensaio**, Belo Horizonte, v. 14, n. 3, p. 199-215, 2012. Disponível em: https://www.scielo.br/j/epec/a/qMKkdvK6fBFwZYzzrTcN67d/. Acesso em: 31 out. 2024.

Esse artigo apresenta aspectos que fundamentaram, na teoria e na prática, a gênese e proposição dos três momentos pedagógicos.

OLIVEIRA, A. S.; SOARES, M. H. S. B. Júri químico: uma atividade lúdica para discutir conceitos químicos. **Química Nova na Escola**, n. 21, 2005. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc21/v21a04.pdf. Acesso em: 31 out. 2024.

Os autores descrevem como organizar um júri simulado, apresentando sugestões de como organizar a sala de aula e quais as ações do professor nesse cenário. As estratégias descritas podem ser adaptadas a diferentes contextos de ensino para a realização de debates sobre temas diversos.

SANTOS, A. L. **Guia prático de utilização do ChemSketch.** (Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Matemática), Universidade Federal do Acre, 2016. Disponível em: http://www2.ufac.br/mpecim/menu/produtos-educacionais/2014/produto-educacional-alcides-loureiro-santos.pdf. Acesso em: 31 out. 2024.

Esse produto educacional auxilia a utilização do *software* ChemSketch.

SILVA, D. L.; MIRANDA, A. C. G.; FRANCO-PATROCÍNIO, S. O. Equilíbrio químico: tendências do ensino e aprendizagem em publicações científicas a partir da análise de periódicos nacionais e internacionais. **Revista Ciência e Natura**, v. 44, n. 53, 2022. Disponível em: https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/view/69757/50563. Acesso em: 17 set. 2024.

Artigo de revisão da literatura, apresentando as principais tendências relacionadas ao processo de ensino-aprendizagem do conceito equilíbrio químico.

SILVA, J. R. R. T.; AMARAL, E. M. R. Concepções sobre substância: relações entre contextos de origem e possíveis atribuições de sentidos. **Química Nova na Escola**, v. 38, n. 1, p. 70-78, 2016. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc38_1/12-AF-3-15.pdf. Acesso em: 31 out. 2024.

O trabalho apresenta uma análise acerca das concepções de estudantes e professores do Ensino Médio sobre o conceito de substância, identificando a natureza dessas ideias e o contexto ao qual elas podem estar associadas.

SOUZA, F. de M.; ARICÓ, E. M. Teorias ácido-base no século XX e uma análise reflexiva do trabalho científico. **Educación Química**, v. 28, p. 211-216, 2017. Disponível em: https://revistas.unam.mx/index.php/req/article/view/64009. Acesso em: 31 out. 2024.

O artigo traz uma análise histórica da formulação de teorias ácido-base, como as de Arrhenius e de Brønsted-Lowry.

SOUZA, V. C. de A.; JUSTI, R. Interlocuções possíveis entre linguagem e apropriação de conceitos científicos na perspectiva de uma estratégia de modelagem para a energia envolvida nas transformações químicas. **Revista Ensaio**, v. 13, n. 2, p. 31-46, 2011. Disponível em: https://www.scielo.br/pdf/epec/v13n2/1983-2117-epec-13-02-00031.pdf. Acesso em: 31 out. 2024.

O artigo propõe uma estratégia de modelagem para o ensino do tema energia envolvida nas transformações químicas. Nele também são apresentados alguns aspectos importantes sobre os impactos da linguagem na construção de conceitos como energia, calor e temperatura.

ISBN 978-85-16-14056-4